

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KOMPLETNÍ NÁVRH TŘÍPÁSMOVÉ REPROSOUSTAVY

COMPLETE DESIGN OF THREE-WAY SPEAKERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

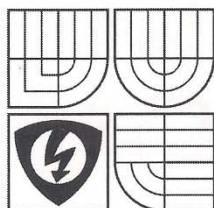
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Jalový

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Josef Slezák

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Michal Jalový
Ročník: 3

ID: 106491
Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Kompletní návrh třípásmové reprosoustavy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte postup návrhu reproduktorové ozvučnice a možné způsoby návrhu reproduktorových výhybek. Postup návrhu detailně popište. Navrženou reproduktorovou soustavu prakticky realizujte a změřte její parametry. Dosažené výsledky ověřte v literatuře.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] TOMAN, K. Reprodukory a reprosoustavy. Praha: Ben - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Josef Slezák

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Jalový
Bytem: Bezručova 1, Blansko, 678 01
Narozen/a (datum a místo): 8. srpna 1987 v Boskovicích

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Kompletní návrh třípásmové reprosoustavy

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Josef Slezák

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

.....

Nabyvatel

.....

Autor

ABSTRAKT

Tato práce popisuje kompletní návrh třípásmové reprosoustavy. V úvodu jsou rozebrány základní teoretické poznatky k pochopení problematiky návrhu reproduktorové soustavy s ohledem na fyziologii slyšení, teorii akustiky, parametry reproduktorů, typy ozvučnic a použití výhybek. Dále jsou na základě vzorců vypočítány parametry reproduktorové ozvučnice a reproduktorových výhybek pro uvedené vlastnosti reproduktorů navrhované reprosoustavy. Návrh se také opírá o konkrétní měření impedančních vlastností zvolených reproduktorů. Na závěr jsou uvedeny veškeré podklady pro praktickou realizaci reprosoustavy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Reproduktor, měnič, reproduktorová soustava, reproduktorová výhybka, zvuk, ozvučnice.

ABSTRACT

This project describes complete design of Three-way speakers. The introduction discussed the basic theoretical knowledge to the understanding of loudspeaker system design issues with regard to the physiology of hearing, the theory of acoustics, speaker characteristics, types of enclosures and the use of switches. Furthermore, based on the formula calculated parameters of a loudspeaker cabinet and speaker points to the loudspeaker of the proposed speakers. The proposal also relies on the specific measurement properties of the selected speaker impedance. Finally all data are presented for practical implementation speakers.

KEYWORDS

Speaker, inverter, speaker system, speaker switch, sound, cabinet.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JALOVÝ, M. *Kompletní návrh třípásmové reprosoustavy: bakalářská práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010 53s., 3 příl.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Kompletní návrh třípásmové reprosoustavy jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefovi Slezákovi za účinnou, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....
podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
1 ZVUK	11
1.1 Lidské slyšení	11
1.2 Parametry zvuku	12
2 REPRODUKTOR	13
2.1 Frekvenční rozsah	13
2.1.1 Hlubokotónový	13
2.1.2 Středotónový	14
2.1.3 Vysokotónový	15
2.1.4 Širokopásmový	15
2.2 Konstrukce reproduktoru	15
2.2.1 Membrána	16
2.2.2 Horní závěs membrány	16
2.2.3 Koš	16
2.2.4 Středící membrána	16
2.2.5 Prachovka	16
2.2.6 Magnetický obvod	17
2.2.7 Kmitací cívka	17
2.3 Parametry reproduktoru	17
2.3.1 Rozměry reproduktoru	17
2.3.2 Jmenovitá impedance	18
2.3.3 Maximální příkon	18
2.3.4 Frekvenční rozsah	19
2.3.5 Charakteristická citlivost	19
2.3.6 Rezonanční kmitočet	19
2.3.7 Maximální lineární výchylka X_{\max}	19
2.3.8 Ekvivalentní objem V_{as}	19
2.3.9 Činitele jakosti Q_{ms} , Q_{es} , Q_{ts}	20
2.3.10 Kmitočtové charakteristiky amplitudové	20
2.3.11 Směrová charakteristika	20

3	OZVUČNICE	21
3.1	Podstata ozvučnice	21
3.2	Ozvučnice otevřená	21
3.3	Ozvučnice uzavřená	21
3.4	Ozvučnice typu bassreflex	22
3.4.1	Aproximace ladění	23
4	VÝHYBKY	23
4.1	Smysl reproduktorové výhybky	23
4.2	Stanovení dělicích kmitočtů	24
4.3	Volba strmostí filtru	24
4.4	Zatížitelnost výhybky	25
5	KONSTRUKCE REPROSOUSTAV	25
5.1	Obecné zásady	25
5.2	Materiály	25
5.2.1	Středně hustá deska z fibru – M.D.F.	25
5.2.2	Dřevovláknitá deska	26
5.2.3	Překližka	26
5.2.4	Lamináty	26
5.2.5	Kámen	26
5.3	Spojování stěn	26
5.4	Tlumení stojatých vln	26
6	TEORETICKÝ NÁVRH REPROSOUSTAVY	27
6.1	Výběr reproduktoru	27
6.1.1	Volba hlubokotónového měniče	27
6.1.2	Volba středotónového měniče	28
6.1.3	Volba vysokotónového měniče	29
6.2	Měření impedanční charakteristiky reproduktoru	30
6.2.1	Eminence Kappa PRO-15A	30
6.2.2	Selenium – 10MB3P	31
6.2.3	Selenium – ST322	32
6.3	Návrh parametrů ozvučnice a bassreflexového nátrubku	32
6.4	Návrh výhybek	34
6.4.1	Dolní propust (40 dB/dek)	35
6.4.2	Pásmová propust (40 dB/dek)	35

6.4.3	Horní propust (60 dB/dek)	36
6.5	Kompenzace impedančního průběhu měniče.....	37
6.5.1	Kompenzace indukčnosti kmitačky (hlubokotónový reproduktor).....	37
6.5.2	Kompenzace rezonance (vysokotónový reproduktor).....	37
6.5.3	Vyrovnaní citlivosti (vysokotónový reproduktor).....	37
6.6	Volba součástek.....	38
6.6.1	Cívky	38
6.6.2	Kondenzátory	38
6.6.3	Rezistory.....	38
6.6.4	Žárovka.....	38
6.7	Konstrukční provedení reproskříně	39
7	MĚŘENÍ REPROSOUSTAVY	39
7.1	Měření frekvenčních charakteristik.....	39
7.1.1	Závislost impedance na frekvenci	39
7.1.2	Závislost citlivosti na frekvenci	40
7.2	Parametry reprosoustavy	42
	ZÁVĚR	43
	LITERATURA	45
	SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	46
	SEZNAM PŘÍLOH	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Ilustrace podstaty vzniku zvuku (převzato z [1]).....	11
Obr. 1.2: Vymezení oblasti možného slyšení lidského ucha (převzato z [1]).....	12
Obr. 2.1: Hlubokotónové reproduktory EMINENCE Deltalite - 2512 a Delta Proffesional - 12A (převzato z [2])	14
Obr. 2.2: Středotónový reproduktor SELENIUM – 10MB3P	14
Obr. 2.3: Vysokotónové reproduktory SELENIUM – ST322 a ST200 (převzato z [3])	15
Obr. 2.4: Řez elektrodynamickým reproduktorem s kuželovou membránou	16
Obr. 2.5: Typický katalogový výkres reproduktoru (převzato z [3])	17
Obr. 2.6: Impedanční závislost reproduktoru na kmitočtu	18
Obr. 2.7: Směrové charakteristiky reproduktoru pro různé kmitočty (převzato z [3])	20
Obr. 3.1: Otevřená ozvučnice (převzato z [1]).....	21
Obr. 3.2: Reprodukter v uzavřené ozvučnici (převzato z [1])	22
Obr. 3.3: Reprodukter v ozvučnici s bassreflexovým nátrubkem (převzato z [1]).....	22
Obr. 4.1: Zapojení reproduktorových výhybek s ohledem na strmost (převzato z [1])	24
Obr. 4.2: Znázornění strmosti 12 a 6 dB/oct. u třípásmové výhybky (převzato z [1])	25
Obr. 5.1: Základní spojování stěn na tupo a na pokos (převzato z [1])	26
Obr. 6.1: Frekvenční <i>SPL</i> a impedanční charakteristika reproduktoru Deltalite - 2512 (převzato z [2])	28
Obr. 6.2 Frekvenční <i>SPL</i> a impedanční charakteristika reproduktoru 10MB3P (převzato z [3])	29
Obr. 6.3: Frekvenční <i>SPL</i> a impedanční charakteristika reproduktoru ST322 (převzato z [3])	30
Obr. 6.4 Změřená impedanční a fázová charakteristika v závislosti na frekvenci pro reproduktor Eminence Kappa PRO–15A	31
Obr. 6.5: Změřená impedanční a fázová charakteristika v závislosti na frekvenci reproduktoru Selenium–10MB3P	31
Obr. 6.6: Změřená impedanční a fázová charakteristika v závislosti na frekvenci pro reproduktor Selenium – ST322	32
Obr. 7.1: Změřená impedanční charakteristika v závislosti na frekvenci reprosoustavy	40
Obr. 7.2: Změřená závislost charakteristické citlivosti na frekvenci reprosoustavy	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Praktické hodnoty hladin akustického tlaku a přirovnání ke zdrojům zvuku	13
Tab. 6.1: Základní parametry reproduktoru Eminence – Kappa PRO-15A (převzato z [2]) ...	27
Tab. 6.2: Základní parametry reproduktoru Selenium – 10MB3P (převzato z [3])	29
Tab. 6.3: Základní parametry reproduktoru Selenium – ST322 (převzato z [3])	30
Tab. 7.1: Základní parametry třípásmové reprosoustavy	42

ÚVOD

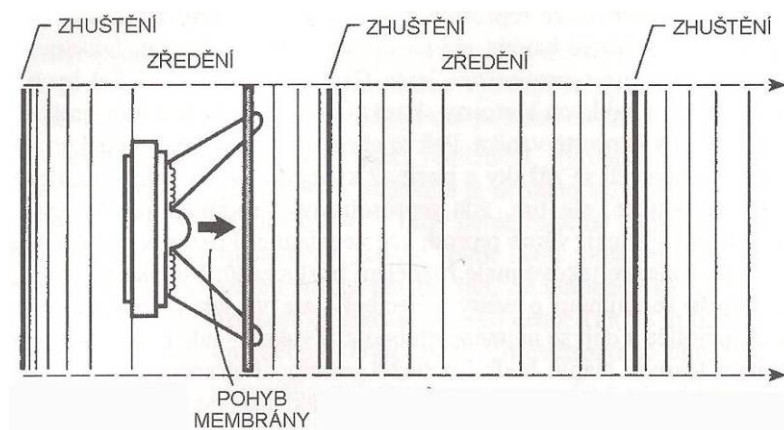
Cílem této práce je přiblížit problematiku návrhu i samotnou realizaci reproduktorové soustavy určené ke kvalitnímu ozvučení středně velikých uzavřených prostor. Při návrhu se bude vycházet z teorie zvuku, smyslového vnímání zvuku člověkem s ohledem na technické možnosti provedení soustav s elektroakustickými měniči. Této problematice se jako celku věnuje česká i zahraniční literatura. Velká řada informací je publikována v odborných časopisech i na internetu.

Práce je zaměřena na podrobný návod zhotovení třípásmové reproduktorové soustavy s bassreflexovou ozvučnicí. Návod obsahuje informace jak správně vybrat reproduktory, stanovit dělicí kmitočty pro výhybky a určit optimální rozměry reproduktorové ozvučnice. Jedna z kapitol je věnována vlastnímu měření elektrických parametrů reproduktorů, které se při návrhu reproduktorové soustavy uplatňují.

1 ZVUK

Zvuk vzniká kmitáním bodů a bodových soustav v určitém prostředí (nejčastěji vzduchu). Tento pohyb je v podstatě mechanické vlnění, které je popsáno jako fyzikální děj. Toto mechanické vlnění může být ovlivněno fyzikálními vlastnostmi daného prostředí a to je teplota, atmosférický tlak, měrná hmotnost a vlhkost.

Lidské ucho dokáže zachytit pouze velmi rychlou a malou změnu akustického tlaku. Rychlá změna znamená frekvenci zhruba od 20 Hz – 20 000 Hz a malá změna znamená řádově jednotky Pascalů. Tyto rychlé a malé změny znamenají vlastně zhušťování a zředňování vzduchu.

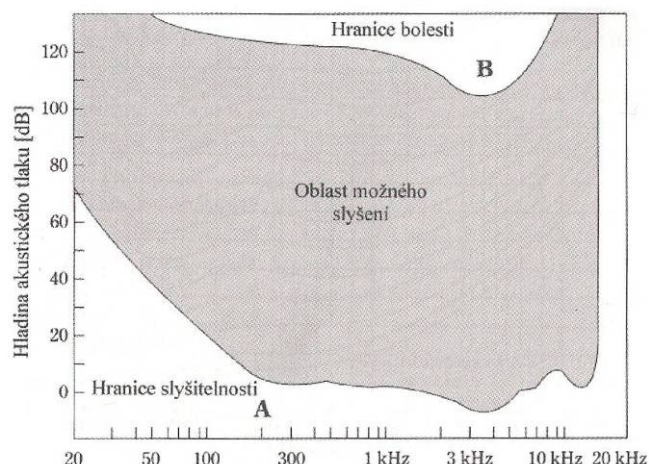


Obr. 1.1: Ilustrace podstaty vzniku zvuku (převzato z [1])

1.1 Lidské slyšení

Lidé mají rozdílnou schopnost slyšitelnosti. Tato schopnost je hlavně ovlivněna stářím a také zdravotním stavem jedince. Citlivost lidského ucha je také frekvenčně závislá. A dá se říci, že lidské ucho je nejvíce citlivé v oblasti zhruba od 1 kHz do 3,5 kHz. V této oblasti ucho

nejlépe slyší, ale také o to méně snese.



Obr. 1.2: Vymezení oblasti možného slyšení lidského ucha (převzato z [1])

Častá vysoká intenzita zvuku může vést k postupné ztrátě sluchu. Navíc platí, že vysoké frekvence při veliké hlasitosti jsou více škodlivé než nízké. Bohužel při vysoké úrovni zvuku nemusíme cítit bolest, ale i přesto dochází k poškození sluchového aparátu. Proto je důležité si svůj sluch dobře chránit.

1.2 Parametry zvuku

Nezákladnější jednotkou pro určování hladiny intenzity zvuku je decibel. Tato jednotka je bezrozměrná a určuje podíl dvou hodnot, který je vyjádřen v logaritmické míře.

$$X_{dB} = 20 \log \frac{X}{X_0}, \quad (1.1)$$

kde X_{dB} je hodnota v decibelech, X je změřená hodnota, X_0 je referenční hodnota.

Při zjišťování od jaké úrovně je zdravé lidské ucho schopno vnímat akustický tlak pro kmitočty v oblasti 1 kHz – 3,5 kHz (zde začíná být ucho více citlivé na zvukové podněty), došlo se na hodnotu 20 μ Pa. Tato hodnota byla stanovena jako referenční hodnota, která odpovídá 0 dB hladině akustického tlaku (SPL).

$$L_p = SPL = 20 \log \frac{p}{p_0}, \quad (1.2)$$

kde SPL je hladina akustického tlaku, p je změřený akustický tlak, p_0 je referenční hodnota akustického tlaku.

V praxi se můžeme setkat s následujícími hodnotami.

Tab. 1.1: Praktické hodnoty hladin akustického tlaku a přirovnání ke zdrojům zvuku

Akustický tlak [Pa]	Hladina akustického tlaku [dB]	Vnímaná hlasitost	Zdroj zvuku
0,00002	0	Práh slyšitelnosti	-
0,0002	20	Extra tichá	tichá místnost, šelest listí
0,02	60	Střední	běžná řeč
0,2	80	Velmi hlasitá	městský provoz
2	100	Extra hlasitá	koncert, diskotéka
20	120	Práh bolesti	startující tryskové letadlo

Pro praktické určení, jak silně nám reprosoustava bude hrát, byl zaveden pojem hladiny akustického výkonu. Hladina akustického výkonu je hodnota energie vztažená k ozařované ploše. Hodnota energie je vyjádřena jako součin příkonu reprosoustavy a její účinnosti. Z důvodu, že se jedná o poměrovou veličinu v dB, byla stanovena i referenční hodnota a to 1 pW.

2 REPRODUKTOR

Reproduktor je zařízení k přeměně elektrické energie na zvuk, proto jej někdy nazýváme elektroakustickým měničem. Účinnost této přeměny je velice malá (řádově jednotky procent), protože většina energie se přemění v teplo. O reproduktorech se dá tedy říci, že se jedná o topná tělesa a jejich vedlejším produktem je zvuk. Reproduktor pracuje na principu vzájemného působení sil magnetického pole trvalého magnetu s magnetickým polem cívky, kterou protéká střídavý proud.

Výběr reproduktorů je nejdůležitější úvodní krok při stavbě reproduktorové soustavy. Velice důležité je prostudovat jaké má reproduktor parametry a podle těchto parametrů vybírat. Bohužel pokud bychom vybrali reproduktory s neideálními parametry, těžko jejich vlastnosti později změníme.

2.1 Frekvenční rozsah

Z důvodu kvalitní reprodukce širokého kmitočtového spektra jsou na reproduktory kladeny značně rozdílné nároky. Proto spíše volíme více měničů, které pokrývají celé slyšitelné pásmo. Výjimkou jsou širokopásmové měniče přenášející celé pásmo za cenu zhoršení reprodukce určitých frekvencí. Reproduktory podle jejich kmitočtových vlastností nejčastěji dělíme na hlubokotónové, středotónové, vysokotónové a širokopásmové.

2.1.1 Hlubokotónový

Reproduktor je určen pro reprodukci nízkých kmitočtů (kmitočty zhruba od 20 Hz). Tento reproduktor také známe pod názvem basový (anglicky woofer). Podle tohoto měniče se určuje velikost ozvučnice, tím pádem i celková velikost celé reprosoustavy.

Pro basový reproduktor platí:

- Větší reproduktory potřebují veliký objem ozvučnice a mají lepší přenos nízkých kmitočtů, ale velikou směrovost (což nám tolik nevadí při nízkých kmitočtech).
- Menší reproduktory mají lepší přenos středních kmitočtů a také menší směrovost.
- Čím větší má reproduktor lineární výchylku tím je méně středotónový.



Obr. 2.1: Hlubokotónové reproduktory EMINENCE Deltalite - 2512 a Delta Professional - 12A (převzato z [2])

2.1.2 Středotónový

Tento reproduktor (anglicky MID - RANGE) je určen k účinné reprodukci v pásmu zhruba od 500 Hz až do 5 kHz. V tomto pásmu kmitočtů jsou na reproduktor kladeny největší nároky. Hlavně z toho důvodu, že v tomto pásmu kmitočtů je zastoupeno nejvíce hudebních nástrojů. Nesmíme také zapomenout na to, že v tomto rozmezí kmitočtů je lidské ucho nejcitlivější. Středový reproduktor určuje srozumitelnost řeči a také zabarvení hudebních nástrojů (klavír, housle, saxofon, atd.). Z těchto důvodů je tento reproduktor nejvíce důležitý v celé reprosoustavě a také nejvíce namáhaný. Často se, ale tato skutečnost zapomíná a klade se důraz spíše na basový reproduktor, což je chyba. U dvoupásmových reprosoustav zastupuje funkci středotónového reproduktoru reproduktor basový, zde jsou tedy požadované vysoké parametry opodstatněné.

Pro středotónový reproduktor platí:

- Frekvenční charakteristika musí být co nejplošší, aby nedocházelo ke zkreslení zvuku.
- Musí být oddělen od basového reproduktoru, aby nedocházelo k rozkmitu středotónového reproduktoru, což by mělo za následek zkreslení reproduktoru (platí pro reproduktory s otevřeným košem).
- Konstrukteři musí hledat kompromis mezi velikostí reproduktoru (membrány) a směrovostí reproduktoru, ke které dochází hlavně u vyšších kmitočtů.



Obr. 2.2: Středotónový reproduktor SELENIUM – 10MB3P

2.1.3 Vysokotónový

Reproduktor (anglicky TWEETER) se používá většinou v pásmu od 3 kHz až do zhruba 20 kHz. U těchto reproduktorů je charakteristická velká citlivost oproti ostatním reproduktorům. Jejich membrána musí být co nejtužší. Pro tento reproduktor je velice důležitá kvalitní výhybka, která zamezí vpuštění nízkých kmitočtů do reproduktorů (přiblížení se rezonančnímu kmitočtu).

Pro vysokotónový reproduktor platí:

- Musíme kompenzovat velkou citlivost reproduktoru, abychom se přiblížili charakteristické citlivosti ostatním reproduktorům.
- Pro příliš nízký dělicí kmitočet reproduktoru může dojít ke zničení reproduktoru.
- Umísťujeme jej v reprosoustavě tak, aby byl co nejbližší ose lidského ucha.
- Směrovost reproduktorů je dosti velká.
- Pro ochranu reproduktoru nejčastěji používáme žárovku a také odporový dělič (snižuje nám zároveň citlivost reproduktoru).



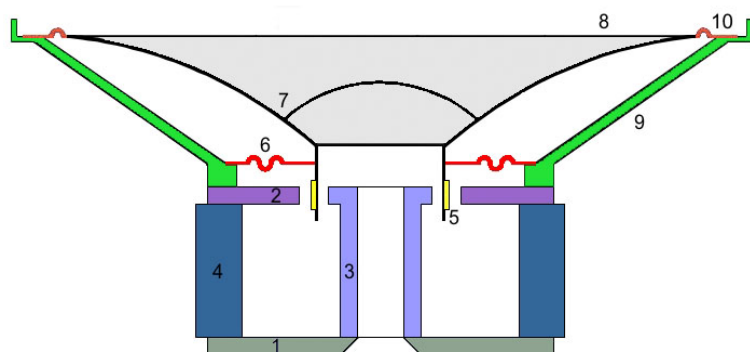
Obr. 2.3: Vysokotónové reproduktory SELENIUM – ST322 a ST200 (převzato z [3])

2.1.4 Širokopásmový

Reproduktor dokáže přenést celé pásmo slyšitelných kmitočtů. Nazýváme ho také jako celorozsahový (anglicky FULL - RANGE). U tohoto reproduktoru nemůžeme očekávat moc kvalitní reprezentaci určitých kmitočtů. Tento reproduktor má velké zastoupení u automobilového ozvučení, je osazován jako studiový monitor, stropní reproduktor apod.

2.2 Konstrukce reproduktoru

Membrána reproduktoru je pružně zavěšená do rámu reproduktoru, který se nazývá koš. Pístový pohyb membrány způsobuje zředňování a zhušťování vzduchu, čímž vzniká změna akustického tlaku (zvuková vlna). Pro elektrodynamický reproduktor platí princip silového působení na vodič, kterým protéká proud a je umístěn v magnetickém poli.



- 1) Zadní deska
- 2) Horní deska
- 3) Pólový nástavec
- 4) Magnetický obvod
- 5) Kmitací cívka
- 6) Středící membrána
- 7) Těsnění proti prachu
- 8) Membrána
- 9) Koš
- 10) Horní závěs membrány

Obr. 2.4: Řez elektrodyndmickým reproduktorem s kuželovou membránou

2.2.1 Membrána

Membrána přenáší pístový pohyb, který způsobuje zředování a zhušťování vzduchu, čímž vzniká zvuk. Membrána má tvar kužele s kruhovou či eliptickou základnou. Pro výškové reproduktory se používá tvar kulového vrchlíku. Při pístovém pohybu dochází ke zkreslení zvuku kvůli deformaci membrány, na kterou působí hlavně síla kmitací cívky. Z tohoto důvodu je vyrobena membrána z tuhého a zároveň i lehkého materiálu. Při vyšších kmitočtech se deformační vlna šíří mnohem rychleji. Tuto deformaci lze nejvíce pozorovat na impedanční charakteristice (závislost impedance na kmitočtu), kde dochází k většímu zvlnění průběhu. Takže je dobré pro konstruktéra reprosoustavy ověřit si z jakého materiálu jsou vybírané reproduktory a jejich membrány vyrobeny.

2.2.2 Horní závěs membrány

Jedná se o hlavní pružné držáky membrány, které vymezují kam, až se může membrána pohybovat. V podstatě se dá říci, že je to závěs membrány a slouží k jejímu pružnému ukotvení. Závěsy membrány spolu s membránou určují také parametry reproduktoru (poddajnost a odpor kmitacího systému). Závěs by měl mít především optimální pružnost, udržovat kmitací cívku v otvoru magnetu, vymezovat rozsah výchylky a teplotní a časovou stálost.

2.2.3 Koš

Koš tvoří nosnou část reproduktoru. Při pohybu membrány dochází k pnutí celého koše. Proto by měl mít koš co největší tuhost, aby nedocházelo k deformaci. Pro výkonové reproduktory je nejlepší použít slitiny hliníku (dostatečně tuhý a lehký).

2.2.4 Středící membrána

Středící membrána přidržuje kmitací cívku s membránou, aby nedošlo k vybočení z osy vzduchové mezery magnetu. Tím zabraňuje tření cívky o magnetický obvod a zároveň chrání vzduchovou mezeru před nečistotami.

2.2.5 Prachovka

Jejím hlavním úkolem je ochrana kmitací cívky před nečistotami. U basového

reproduktoru plní také funkci mechanického zesílení membrány. Pro prachovku je důležité, aby měla velkou tuhost a také odolnost proti prostupu prachových nečistot. Nežádoucí vlastností u málo prodyšné prachovky je vznik turbulentního proudění vzduchu kolem kmitací cívky, což může mít za následek dosti výrazné zkreslení.

2.2.6 Magnetický obvod

Základem je permanentní magnet s magneticky měkkými pólovými nástavci, jejímž úkolem je soustřeďovat magnetickou energii do pracovní mezery. Magnet je většinou magneticky tvrdý ferit. U kvalitnějších reproduktorů najdeme příměsi Neodymia. Účinnost magnetického obvodu závisí na velikosti magnetického toku v mezeře. K lepšímu odvodu tepla slouží chladicí otvor. Tento otvor má také další přínos a to, že nedochází ke kompresi vzduchu uvnitř kmitací cívky.

2.2.7 Kmitací cívka

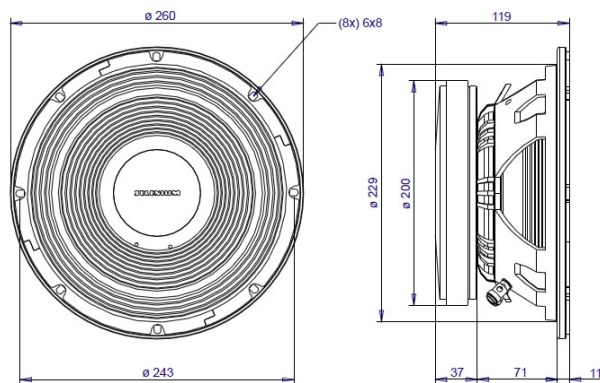
Kmitací cívka je spolu s magnetickým obvodem hnacím ústrojím reproduktoru. Délka vinutí kmitací cívky má vliv na maximální výchylku reproduktoru (čím delší tím je větší rozkmit), menší frekvenční rozsah reproduktoru zvláště u vyšších kmitočtů.

2.3 Parametry reproduktoru

Jsou velice důležité pro konstruktéra reprosoustavy z toho důvodu, že podle těchto údajů vybírá samotné měniče. Parametry můžeme rozdělit na mechanické (rozměry, hmotnost), základní údaje (impedance, maximální příkon, citlivost, jmenovitou impedanci), materiál reproduktoru (z čeho je vyrobena membrána, koš, kmitací cívka, atd.), přesnější specifikaci reproduktoru (činitele jakostí, rezonanční kmitočet), grafický popis (směrová charakteristika, impedanční závislost, atd.). Veškeré tyto údaje většinou poskytuje výrobce reproduktoru.

2.3.1 Rozměry reproduktoru

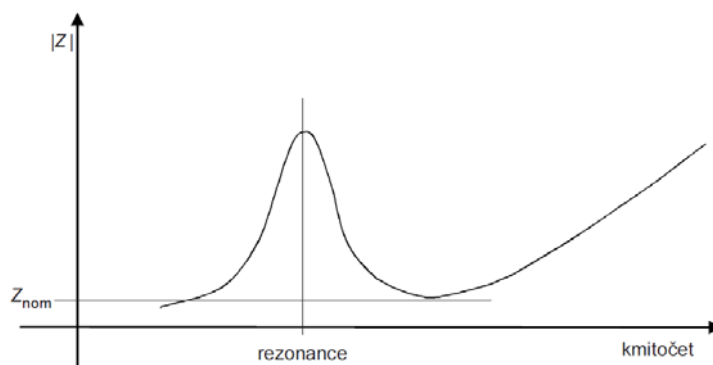
Rozměr reproduktoru je dosti podstatná hodnota, od které se odvozují i rozměry ozvučnice. Nejčastěji si konstruktér řekne, že si postaví 3 pásmovou soustavu s 12 palcovým hlubokotónovým reproduktorem. Nejčastěji se uvádí vnější průměr, rozteč otvorů pro šrouby, rozměry magnetu, hmotnost, výška a průměr kmitací cívky.



Obr. 2.5: Typický katalogový výkres reproduktoru (převzato z [3])

2.3.2 Jmenovitá impedance

Nejčastěji se s touto hodnotou setkáváme jako první u reproduktoru. Jde vlastně o nominální hodnotu, která je určena z impedanční charakteristiky. Tato jmenovitá impedance je impedančně závislá na kmitočtu, z tohoto důvodu při výpočtu není dobré ji používat (došlo by ke značné chybě při výpočtu např. výhybky). Nejčastěji se setkáváme s impedancí 4Ω nebo 8Ω .



Obr. 2.6: Impedanční závislost reproduktoru na kmitočtu

Jmenovitá impedance je složena z reálné a imaginární složky.

$$Z = R + jX_R, \quad (2.1)$$

kde Z je impedance, R je reálný odpor, X_R je reaktance cívky.

Modul impedance lze vyjádřit vztahem:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_R^2}, \quad (2.2)$$

kde Z je modul impedance, R je reálný odpor, X_R je reaktance cívky.

A pokud je impedance závislá na kmitočtu. Má také určitou fázi, která se vypočítá podle vztahu (2.3):

$$\varphi = \arctg \frac{X_R}{R}, \quad (2.3)$$

kde φ je fázový posun, X_R je reaktance cívky, R je reálný odpor.

Fáze nám hlavně ovlivňuje funkci reproduktorové výhybky. Tuto skutečnost je nutné ověřit hlavně u HIFI reproduktorů a zjistit k jakým zpožděním dochází ve výhybce. Je to z toho důvodu, protože tyto reprosoustavy jsou většinou umístěny v „malém prostoru“ například v obývacím pokoji.

2.3.3 Maximální příkon

V obchodech se můžeme setkat s více možnostmi tohoto parametru. Jedná se o tyto parametry:

- Sinusový příkon
- RMS příkon
- Hudební příkon

Se sinusovým příkonem se moc často nesetkáváme. Tato hodnota udává, jak velkou amplitudu sinusoidy můžeme přivést na reproduktor. Tato hodnota se může hodit při měření hodnot reproduktorů.

RMS příkon (angl. Root Mean Squared power), který je definován jako efektivní hodnota časově proměnného signálu, který může být přiváděn na reproduktor.

Hudební příkon nám definuje maximální (krátkodobou) zatížitelnost reproduktoru. Tuto hodnotu většinou výrobce určuje ze svých zkušeností a na základě použitých materiálů. Proto je tato hodnota dosti neurčitá a je lepší se dívat na RMS příkon.

2.3.4 Frekvenční rozsah

Vyjadřuje akustickou energii, ve které může reproduktor účinně vyzařovat v závislosti na frekvenčním rozsahu. Při tomto stanovování se používají tzv. toleranční pole ± 3 dB a ± 6 dB. Tento rozsah je velice důležitý při realizaci reproduktorových soustav. Hlavním cílem je optimálně rozvrhnout přenášená pásma zvolených reproduktorů (pomocí výhybky), hlavně s ohledem na citlivost reproduktorů. Pokud by došlo ke špatnému stanovení dělících kmitočtů, mohl by nám určitý reproduktor hrát více než druhý a také by mohlo dojít ke špatné reprezentaci zvuku. Tím pádem je velice důležitý výběr reproduktorů nejen pomocí základních parametrů (výkon, impedance, atd.), ale také brát zřetel na frekvenční závislost reproduktoru.

2.3.5 Charakteristická citlivost

Citlivost udává průměrný akustický tlak v ose reproduktoru, ve vzdálenosti 1 m a s příkonem 1 VA v určitém frekvenčním pásmu. Dá se tedy říci, že různé reproduktory můžou produkovat zvuk různě hlasitě se stejným příkonem. Velikost charakteristické citlivosti je závislá na použitém materiálu magnetického obvodu a také na konstrukci reproduktoru. Charakteristická citlivost se udává v dB.

2.3.6 Rezonanční kmitočet

Rezonanční kmitočet leží při dolním okraji přenášeného pásma reproduktoru. Při rezonanční frekvenci reproduktor kmitá s největší výchylkou, což může být pro reproduktor za určitých podmínek dost nebezpečné. U reproduktoru s nižším rezonančním kmitočtem nám napovídá, že reproduktor bude hrát solidně i na nízkých kmitočtech. Rezonanční frekvence je místo největší špičky na impedanční charakteristice.

2.3.7 Maximální lineární výchylka X_{\max}

Hodnota, která udává maximální posuv membrány (špička-špička), kdy kterákoli část kmitací cívky neopustí mezeru v magnetickém obvodu. Ideální situace je, pokud by reproduktor vytvářel maximum zvuku s minimálním posuvem.

2.3.8 Ekvivalentní objem V_{as}

Jedná se o parametr, který je odvozen. Ekvivalentní objem je definován jako objem

vzduchu v uzavřené ozvučnici, který by měl stejnou poddajnost jako je hodnota c_{ms} . Jde vlastně o informativní údaj, který představuje, jak objemnou reprosoustavu budeme potřebovat.

2.3.9 Činitele jakosti Q_{ms} , Q_{es} , Q_{ts}

Je definován jako poměr šířky pásma ke kmitočtu. Podle impedanční charakteristiky můžeme odhadem určit její velikost a to tak, že pokud je špička rezonance úzká a vysoká, znamená to vysoký činitel jakosti. Naopak pro pozvolnou špičku rezonance má ukazatel nízký činitel jakosti.

Q_{ms} je mechanický činitel jakosti. Určuje mechanické ztráty pohyblivých částí reproduktoru.

Q_{es} je elektrický činitel jakosti. Jedná se o elektrické ztráty v kmitací cívce.

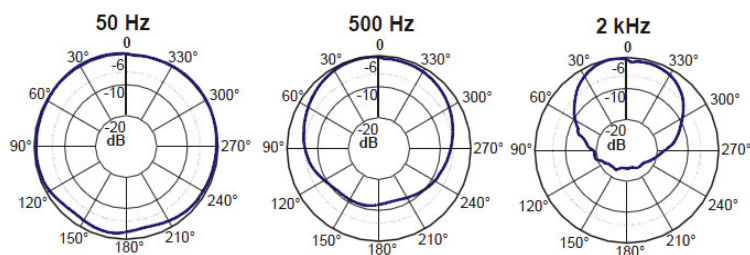
Q_{ts} je to celkový činitel jakosti.

2.3.10 Kmitočtové charakteristiky amplitudové

Nejčastějším frekvenčním vyjádřením u reproduktorů je závislost charakteristické citlivosti v logaritmickém měřítku. Na co se musíme nejvíce zaměřit je zkoumání vlnitosti průběhu. Závislost, která má minimální nerovnosti a je nejhladší, bude pro nás volbou ideálního měniče. Mezi frekvenční charakteristiky řadíme i impedanční závislost, která je popsána v kapitole 2.3.2.

2.3.11 Směrová charakteristika

Směrová charakteristika udává závislost charakteristické citlivosti na úhlu od osy vyzařování reproduktoru (pro určitou frekvenci). Směrová charakteristika se pro vertikální a horizontální rovinu většinou liší. Například pokud chceme ozvučit malou místnost, potřebujeme v horizontálním směru, co největší úhel vyzařování a ve vertikálním není potřeba dosahovat tak velkého úhlu. Naopak u velkoplošných ozvučení se reproduktory volí tak, aby byla charakteristická citlivost, co největší v ose reproduktoru. Tím pádem platí, že nepotřebujeme tak velký úhel vyzařování v horizontálním směru a to stejné ve vertikálním směru.



Obr. 2.7: Směrové charakteristiky reproduktoru pro různé kmitočty (převzato z [3])

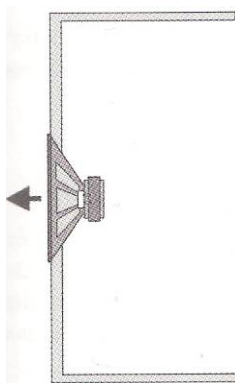
3 OZVUČNICE

3.1 Podstata ozvučnice

Úkolem ozvučnice není pouze samotné uchycení reproduktorů do reprosoustavy, ale slouží hlavně k oddělení přední a zadní zvukové vlny z reproduktoru. Pokud by nedošlo k oddělení přední a zadní zvukové vlny, tak dochází na jistých kmitočtech k takzvanému akustickému zkratu, což má za následek vzájemné vyrušení těchto kmitočtů. Ozvučnice má především vliv na nízké kmitočty (basový reproduktor), takže všechny výpočty rozměrů ozvučnice se upírají na basový reproduktor. Dalším přínosem ozvučnice je, že funguje jako ochrana basového reproduktoru před zničením. A to hlavně z důvodu snížení maximální výchylky reproduktoru. Ozvučnic je více typů, které mají různé vlastnosti pro různé použití.

3.2 Ozvučnice otevřená

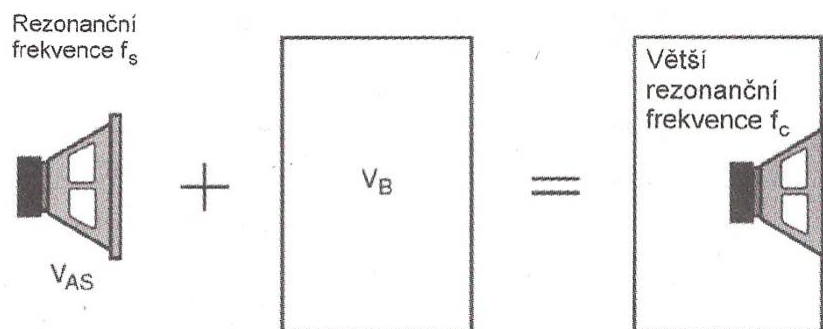
Tento typ se už v dnešní době mnoho nepoužívá. Dříve se tohoto typu využívalo u starých televizorů. Dnešní použití je především u kytarových komb, kde zadní stěna je otevřená. Při zvětšení hloubky dochází ke snížení dolního mezního kmitočtu.



Obr. 3.1: Otevřená ozvučnice (převzato z [1])

3.3 Ozvučnice uzavřená

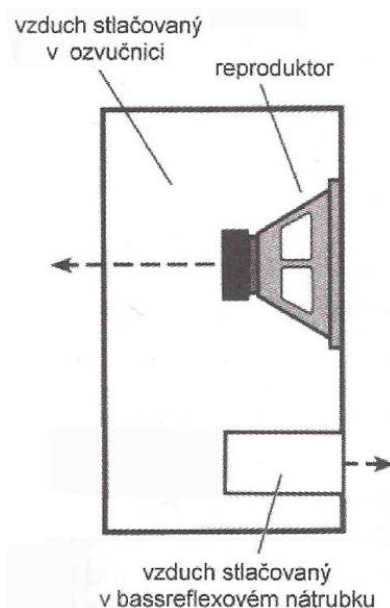
Uzavřená ozvučnice patří mezi nejjednodušší svou konstrukcí. V uzavřené ozvučnici dochází k oddělení přední a zadní vlny. Zadní vlna je utlumena uvnitř reproduktoru, což má za následek změny mechanické energie na teplo (sníží se nám účinnost). Nevýhodou této ozvučnice je, že nám zvyšuje rezonanční kmitočet a činitel jakosti basového reproduktoru a tím pádem dolní mezní kmitočet reprosoustavy a činitel jakosti. Uzavřená ozvučnice se chová jako horní propust 2. řádu, její strmost je 12 dB/oct. Této ozvučnice se využívá hlavně u HIFI reprosoustav, kde klademe důraz na velmi vysokou kvalitu reprodukce.



Obr. 3.2: Reproduktor v uzavřené ozvučnici (převzato z [1])

3.4 Ozvučnice typu bassreflex

Ozvučnice typu bassreflex je velmi podobná ozvučnici uzavřené, ale navíc má na jedné ze stěn reproduktorové soustavy tzv. bassreflexový otvor. Pokud je tento bassreflexový otvor správně naladěný (na správný rezonanční kmitočet) dochází v něm k přenosu zadní vlny (opačná fáze než u přední vlny), která nám zesiluje samotnou reprodukci. Je to hlavně z důvodu nevznikajících ztrát uvnitř reprosoustavy.



Obr. 3.3: Reproduktor v ozvučnici s bassreflexovým nátrubkem (převzato z [1])

Pro použití bassreflexové ozvučnice byl stanoven informativní výpočet (činitel EBP).

$$EBP = \frac{f_s}{Q_{es}}, \quad (3.1)$$

kde EBP je činitel EBP pro bassreflex, f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru, Q_{es} elektrický činitel jakosti.

Pokud nám výsledek EBP větší než 50, hodí se umístit měniče do bassreflexové ozvučnice, pokud je EBP menší více se hodí do uzavřené ozvučnice.

Hlavní důvody proč bassreflexovou ozvučnici používáme: větší účinnost, menší objem skříně a nižší dolní mezní kmitočty. A protože se nejedná o ideální ozvučnici, tak má i své nevýhody: návrh a samotná realizace je o dost složitější, pod rezonančním kmitočtem dochází k velkému zkreslení a nízké kmitočty nejsou tak věrohodně podávány.

3.4.1 Aproximace ladění

Pro návrh bassreflexové ozvučnice vycházíme z takzvaných aproximací ladění (metody ladění). Jsou známy různé aproximace, s jejichž pomocí lze navrhnout objem ozvučnice a naladění bassreflexového nátrubku, podle předem zvoleného průběhu frekvenční charakteristiky. Pro kvalitní reprodukci reprosoustavy se využívá aproximace typu Flat, přičemž hodnota Q_{ts} u basového reproduktoru by neměla přesáhnout hodnotu $Q_{ts}=0,4$, abychom tuto aproximaci mohli použít.

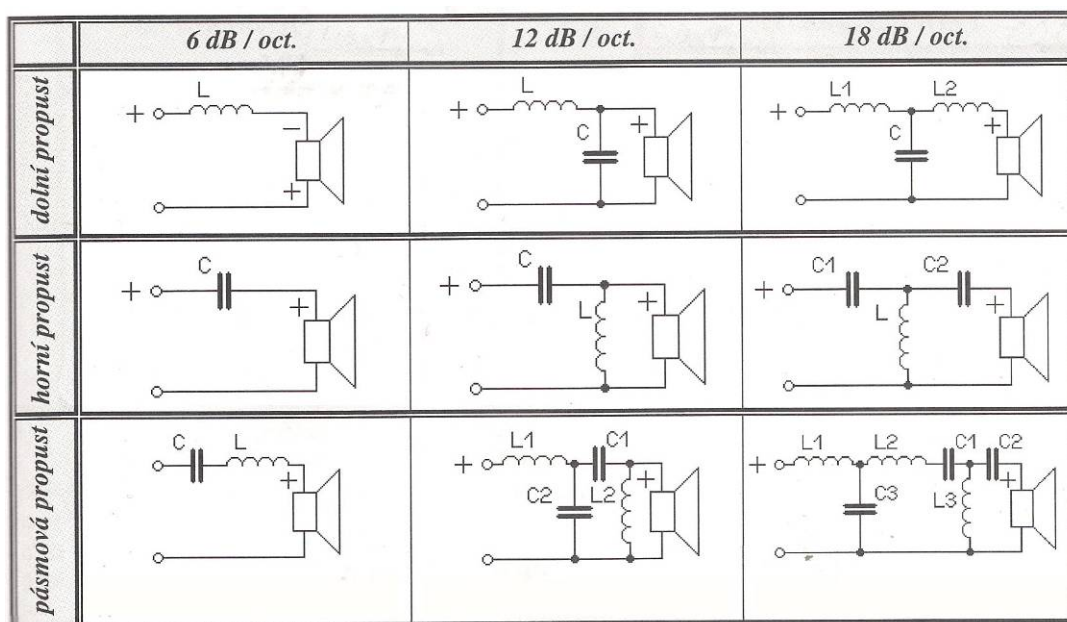
4 VÝHYBKY

4.1 Smysl reproduktorové výhybky

Výhybka je speciální dělicí filtr. Tento filtr nám rozděluje určité frekvenční pásmo. Například, aby nám do basového reproduktoru vcházel pouze zvuk, který je tento reproduktor schopen solidně zahrát. Stejný princip funguje i u ostatních měničů. Frekvenční pásmo (30Hz – 20 kHz) jsme nuceni rozdělit hlavně z důvodu, že zatím není tak dokonalý reproduktor, aby byl schopný přenést tak široké spektrum signálu.

Rozdělení signálu pomocí výhybek znamená, že signál ve výhybce rozdělíme na potřebná pásma a pomocí reproduktoru dostáváme zase kompletní frekvenční pásmo. Samozřejmě je otázka, jak efektivní tento proces je a zdali je proveden korektně. Reproduktorové výhybky můžeme rozdělit na aktivní a pasivní. Typické provedení pasivních výhybek je pomocí filtrů s prvky R,L,C. U aktivních výhybek je k pasivním součástkám (odpor, kondenzátor a cívka) připojen operační zesilovač. Tento typ výhybky se využívá pro vysoké výkony zesilovačů. U reproduktorových výhybek se využívá těchto filtrů:

- Dolní propust (horní zádrž): používá se pro basový reproduktor, propouští pásmo kmitočtů do určitého kmitočtu
- Pásmová propust (pásmová zádrž): je určena pro středotónový reproduktor, propouští pásmo kmitočtů od určitého kmitočtu do daného kmitočtu
- Horní propust (dolní zádrž): zapojuje se k vysokotónovému reproduktoru, propouští pásmo kmitočtů od určitého kmitočtu



Obr. 4.1: Zapojení reproduktorových výhybek s ohledem na strmost (převzato z [1])

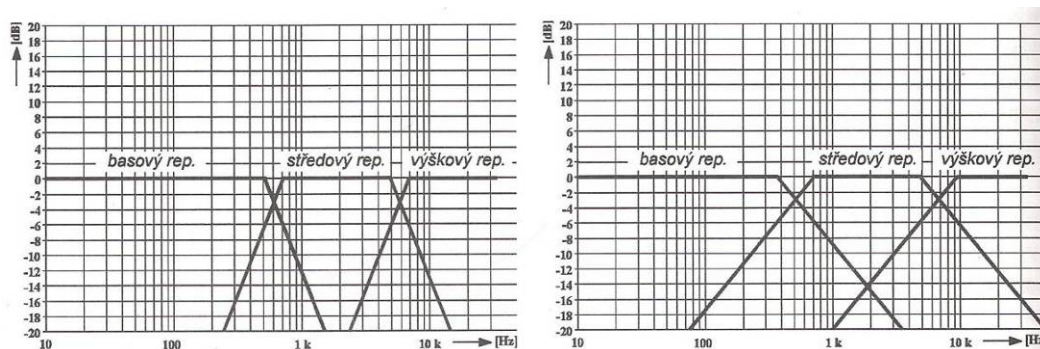
U vysokotónového reproduktoru výhybka funguje také jako ochranný prvek. Je to z důvodu menšího zatížení vysokotónového měniče nízkými kmitočty a tím pádem i menšího výkonového zatížení reproduktoru.

4.2 Stanovení dělicích kmitočtů

Důležitým aspektem pro návrh reproduktorové výhybky je stanovit si z kolika pásem se výhybka bude skládat a také jakou bude mít strmost. Pro správnou funkci je velice důležité stanovit dělicí kmitočty výhybky. Tyto kmitočty se hlavně volí podle zvolených reproduktorů a jejich frekvenčních závislostí. Nejvíce se zaměřujeme na frekvenční závislost charakteristické citlivosti, kde musíme uvážit, že by nám nemělo docházet k velikým skokům citlivosti na mezních kmitočtech. Pokud tento aspekt nedodržíme, docházelo by na mezních kmitočtech k poklesu (zvýšení) citlivosti reproduktorů. Toto by znamenalo, že by na těchto kmitočtech reproduktor méně, či více hrál a frekvenční zašlost reproduktorové soustavy by byla dosti nepříjemně zvlněna.

4.3 Volba strmostí filtru

Při volbě strmosti filtru musíme pracovat s frekvenčními závislostmi reproduktorů. A odhadnout, jaká strmost bude potřeba s ohledem na to, které kmitočty potřebujeme u reproduktoru potlačit a jak silně (efektivně). Je to hlavně s ohledem na to, že pokud používáme větší strmost, dochází k většímu zpoždění signálu ve výhybce a tím pádem i ke změně fáze (zvýšení zkreslení). U vysokotónového reproduktoru nejčastěji používáme filtr se strmostí 18 dB/oct. a to z důvodu účinnějšího potlačení signálu pod dělicím kmitočtem a tím pádem dosáhneme menšího zkreslení reproduktoru. U kvalitnějších třípásmových reprosoustav používáme strmost 12/12/18 dB/oct.



Obr. 4.2: Znárodnění strmosti 12 a 6 dB/oct. u třípásmové výhybky (převzato z [1])

4.4 Zatížitelnost výhybky

Pokud jde o zatížitelnost, opět se díváme na parametr reproduktorů a to výkonu u hlubokotónového a středotónového měniče (třípásmová reprosoustava). U výhybky jsou nejvíce namáhány kondenzátory a cívky. U cívek mluvíme o průměru drátu a u kondenzátoru o průrazném napětí. Pro praktickou realizaci je tedy lepší o něco předimenzovat použité součástky a použitý materiál, než se dočkat vyhoření výhybky.

5 KONSTRUKCE REPROSOUSTAV

5.1 Obecné zásady

Pro vytvoření kvalitní reprosoustavy je důležitý použitý materiál při výrobě ozvučnice a stěn reprosoustavy. Tento materiál by měl být v ideálním případě co nejtužší, nejtěžší a s největším vnitřním tlumením. Nejznámější materiály pro zhotovení reprosoustavy jsou M.D.F. (středně hustá deska z fibru), dřevovláknitá deska, překližka, lamináty a kámen. Podstatné je také důkladné utěsnění samotné reprosoustavy, aby nedocházelo k netěsnostem. Samotné rozměry reproduktorové soustavy má také veliký vliv na vlastní tlumení reproduktoru. Doporučený poměr stran je 0,8:1,25:1 (šířka x výška x hloubka), bohužel tento poměr není ve většině sloupcových reprosoustav možno dodržet.

5.2 Materiály

V dnešní době je na trhu spousta různých materiálů, ale ne všechny jsou pro stavbu reprosoustavy vhodné. Samozřejmě, že nejvíce nám jde o tuhost materiálu, ale musíme tento fakt zvážit, hlavně z důvodu váhy daného materiálu (přenositelnost reprosoustavy). Proto si uvedeme blíže vlastnosti některých materiálů.

5.2.1 Středně hustá deska z fibru – M.D.F.

Tento materiál je těžký má velké vnitřní tlumení a má velkou hustotu. Materiál je vhodný pro domácí HIFI z důvodu přenositelnosti reproduktorů.

5.2.2 Dřevovláknitá deska

Nejvíce používaným materiálem je tzv. dřevotříska. Je středně těžká, méně houževnatá a levnější než středně hustá deska z fibru. Obvykle se používá tloušťka 20 nebo 25 mm.

5.2.3 Překližka

Je středně těžká, je to silný a tuhý materiál. Překližka vzniká vícevrstevným lepením materiálů různých dřevin. Je to dobrý materiál pro mobilní systémy, kde je potřeba reprosoustavy často přemísťovat.

5.2.4 Lamináty

Jedná se o slepené pláty rozdílného druhu dřeva dohromady. Tyto rozdílné materiály mají dobrý vliv na snížení rezonance skříně. Výhodou je nízká hmotnost a tloušťka takto vzniklé desky.

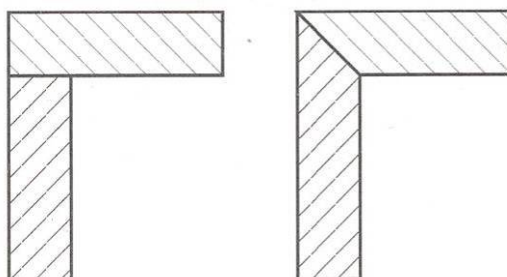
5.2.5 Kámen

Kámen je tvrdý, těžký a má tendenci zvonit. Tento materiál je spíše raritou pro použití klasických reprosoustav.

5.3 Spojování stěn

Spoje jednotlivých stěn je třeba provést co nejpevněji. Nejlepší je stěny spojit pomocí lepidla, dřevěných kolíků nebo pomocí stahovacích vrtů. Jako spojení jednotlivých desek se nejčastěji užívá těchto způsobů:

- Na tupo – je nutné odýhovat hrany, pevnost není moc velká, proto umístíme hranolky do rohů.
- Na pokos – u tohoto typu odpadá dýhování hran, opět je nutné vyztužení pomocí hranolků



Obr. 5.1: Základní spojování stěn na tupo a na pokos (převzato z [1])

Samozřejmě je více druhů spojů (složitějších), kterými se dá samotná reprosoustava poskládat a dosáhnout tak větší tuhosti spoje.

5.4 Tlumení stojatých vln

Další důležitou věcí je vnitřní tlumení reprosoustavy, jinak řečeno tlumení stojatých vln.

Toto stojaté vlnění můžeme odstranit přidáním tlumícího materiálu na vnitřní stěny reprosoustavy. Nejčastěji používáme materiály: vata, molitan, vatelín, igelit a speciální tlumící rouna. Další otázkou je kolik tohoto materiálu je vhodné do reprosoustavy umístit. Bohužel často se konstruktéři domnívají, že čím více materiálu, tím lépe. Bohužel to není pravda, musíme brát v potaz, že pokud reprosoustavu vycpáváme určitým materiálem, snižujeme tím jeho vnitřní objem.

6 TEORETICKÝ NÁVRH REPROSOUSTAVY

6.1 Výběr reproduktoru

Tento krok je vlastně začátkem při stavění reprosoustavy a nemělo by se zapomínat, že je do jisté míry velice důležitý. Hlavně z důvodu kvality stavěné reprosoustavy. Pro zhotovení reprosoustavy pro ozvučení velkých prostor a zároveň dosáhnouti kvalitní reprodukce se volili tyto parametry reproduktorů.

6.1.1 Volba hlubokotónového měniče

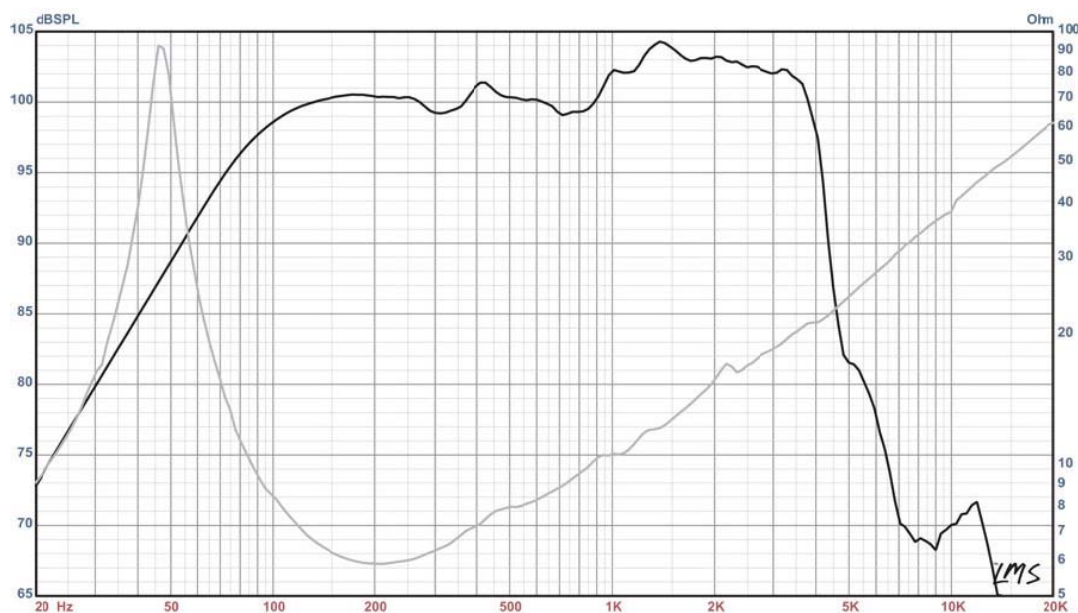
Při volbě basového reproduktoru byla uvažována nabídka reproduktorů o průměru 15". Dalším záměrem bylo dosáhnouti nižšího mezního kmitočtu reproduktoru a zároveň dosáhnouti charakteristické citlivosti zhruba 100 dB. Vybírali se reproduktory značek dostupných na českém trhu (Eminence a Selenium). Tomuto měniči odpovídal typ Eminence – Kappa PRO-15A od výrobce Eminence. Cena měniče v internetovém obchodě [5] je 2 759 Kč.

Základní parametry reproduktoru:

Tab. 6.1: Základní parametry reproduktoru Eminence – Kappa PRO-15A (převzato z [2])

Rozměr	15"
Jmenovitá impedance	8 Ω
Příkon	500 W
Rezonanční frekvence (f_s)	47 Hz
Frekvenční rozsah	46 – 4000 Hz
Charakteristická citlivost	101 dB
Mechanický činitel jakosti (Q_{ms})	8,01
Elektrický činitel jakosti (Q_{es})	0,4
Celkový činitel jakosti (Q_{ts})	0,38
Ekvivalentní objem (V_{as})	167,7 litrů
Maximální lineární výchylka (X_{max})	3,2 mm
Hmotnost	8,9 kg

Měnič Kappa PRO-15A a jeho frekvenční *SPL* a impedanční charakteristika jsou na Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Frekvenční *SPL* a impedanční charakteristika reproduktoru Deltalite - 2512 (převzato z [2])

EBP (činitel EBP pro použití bassreflexu) měniče Kappa PRO-15A podle vzorce (3.1):

$$EBP = \frac{f_s}{Q_{es}} = \frac{47}{0,4} = 117,5 \text{ Hz}$$

Z teoretických poznatků a vypočtené hodnoty vyplývá, že bude vhodné použití ozvučnice typu bassreflex (doporučuje i výrobce).

Použité materiály:

Koš - tlakově litý hliník, membrána - papír, magnet – ferit, prachovka – tvrzený papír, kmitací cívka – hliník.

6.1.2 Volba středotónového měniče

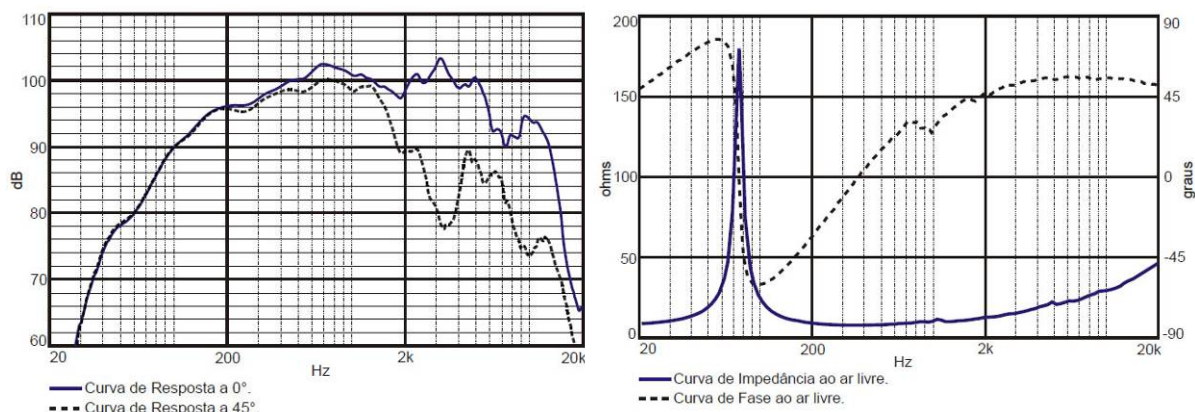
Pro výběr středového reproduktoru bylo vzato v potaz, že u basového reproduktoru se charakteristická citlivost blíží 100 dB. Dále by měl reproduktor pokrýt frekvenční pásmo zhruba od 500 Hz do 6 kHz. A dalším požadavkem bylo, aby v tomto pásmu nebyla příliš kolísavá charakteristická citlivost reproduktoru. Těmto požadavkům odpovídal reproduktor od firmy Selenium – 10MB3P. Cena měniče v internetovém obchodě [5] je 2 481 Kč.

Základní parametry reproduktoru:

Tab. 6.2: Základní parametry reproduktoru Selenium – 10MB3P (převzato z [3])

Rozměr	10"
Jmenovitá impedance	8 Ω
Příkon (RMS)	300 W
Rezonanční frekvence (f_s)	80 Hz
Frekvenční rozsah	150 – 12 000 Hz
Charakteristická citlivost	100 dB
Mechanický činitel jakosti (Q_{ms})	16,05
Elektrický činitel jakosti (Q_{es})	0,47
Celkový činitel jakosti (Q_{ts})	0,46
Ekvivalentní objem (V_{as})	23 litrů
Maximální lineární výchylka (X_{max})	0,6 mm
Hmotnost	6,9 kg

Měnič Selenium – 10MB3P a jeho frekvenční SPL a impedanční charakteristika jsou na Obr. 6.2.



Obr. 6.2 Frekvenční SPL a impedanční charakteristika reproduktoru 10MB3P (převzato z [3])

Použité materiály:

Koš - tlakově litý hliník, membrána - papír, magnet – ferit barnatý, kmitací cívka – hliník.

6.1.3 Volba vysokotónového měniče

Výběr výškového reproduktoru je odvislý od předcházejících voleb reproduktoru. Z tohoto důvodu potřebujeme výškový reproduktor, který bude mít charakteristickou citlivost blízkou 100dB. Dále by měl reproduktor pokrýt frekvenční pásmo zhruba od 4000 Hz do 20 kHz. A dalším požadavkem bylo, aby v tomto pásmu nebyla příliš kolísavá charakteristická

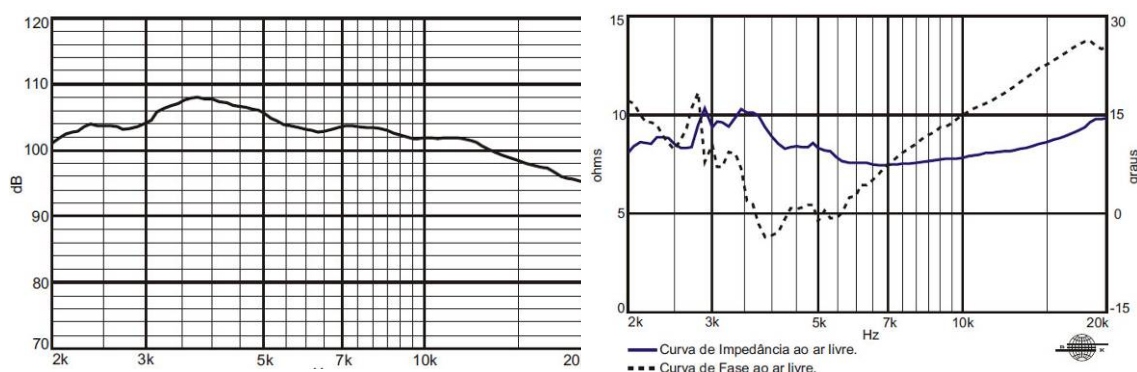
citlivost reproduktoru. Těmto požadavkům odpovídal reproduktor od firmy Selenium – ST322. Cena měniče v internetovém obchodě [5] je 900 Kč.

Základní parametry reproduktoru:

Tab. 6.3: Základní parametry reproduktoru Selenium – ST322 (převzato z [3])

Jmenovitá impedance	8 Ω
Příkon (RMS)	50 W
Frekvenční rozsah	3500 – 20 000 Hz
Charakteristická citlivost	105 dB
Hmotnost reproduktoru	1,6 kg

Měnič Selenium–ST322 a jeho frekvenční SPL a impedanční charakteristika jsou na Obr. 6.3



Obr. 6.3: Frekvenční *SPL* a impedanční charakteristika reproduktoru ST322 (převzato z [3])

Použité materiály:

Magnet – ferit barnatý, kmitací cívka – měď.

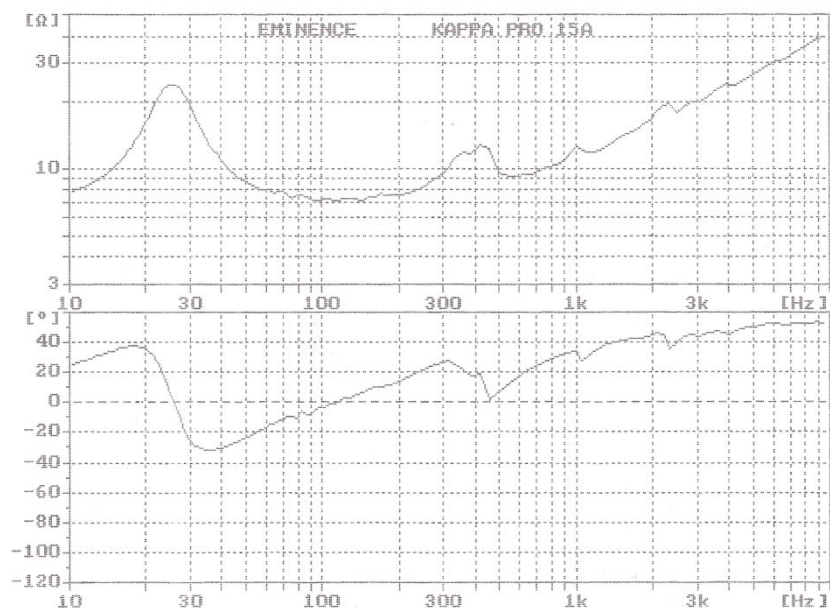
6.2 Měření impedanční charakteristiky reproduktoru

Impedanční závislost je dosti důležitá pro správný návrh reproduktorové výhybky. Podle impedanční charakteristiky určujeme přibližný dělicí kmitočet výhybek. Také induktivní charakter měničů na vyšších kmitočtech způsobuje problémy s návrhem výhybek, které nejsou zatíženy jednoduchou odporovou zátěží, proto tento induktivní charakter musíme kompenzovat. Z tohoto důvodu byly změřeny jednotlivé impedanční a fázové závislosti zvolených reproduktorů a porovnány s průběhy, které dodává výrobce. Měření se provádělo na přístroji UNIMA – KS3 (přístroj zapůjčila SPŠ Jedovnice). Měření impedanční závislosti na tomto přístroji probíhá zcela automaticky podle nastavení v ovládacím programu přístroje (nastavujeme pozorované frekvenční pásmo a rozmezí hodnot impedance). Toto měření bylo doplněno také fázovou charakteristikou.

6.2.1 Eminence Kappa PRO-15A

Na Obr. 6.4 vidíme změřenou impedanční charakteristiku měniče. S porovnáním impedanční závislosti dodávanou výrobcem Obr. 6.1. Můžeme říci, že rezonanční kmitočet

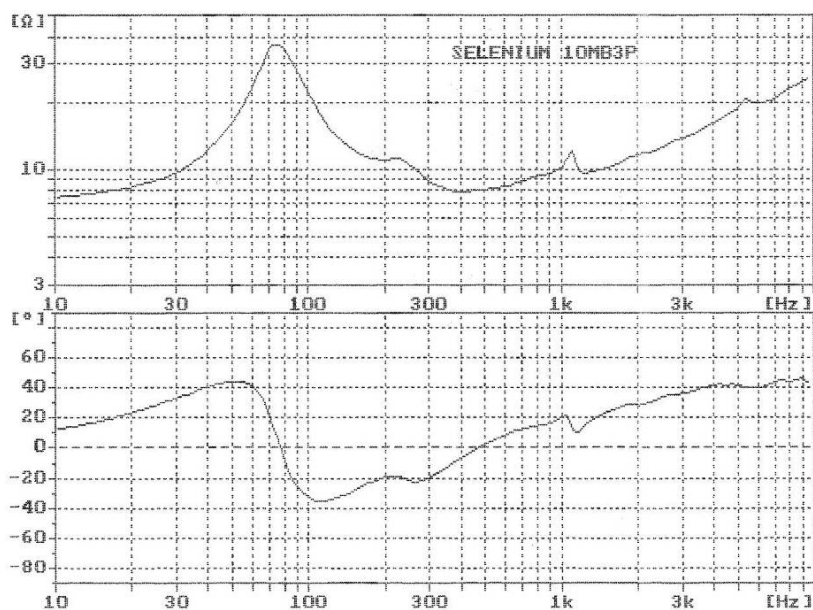
nesouhlasí s uvedenými údaji výrobce. Změřený rezonanční kmitočet se liší zhruba o 22 Hz, což má za následek zvýšení přenosu nízkých kmitočtů reproduktoru.



Obr. 6.4 Změřená impedanční a fázová charakteristika v závislosti na frekvenci pro reproduktor Eminence Kappa PRO-15A

6.2.2 Selenium – 10MB3P

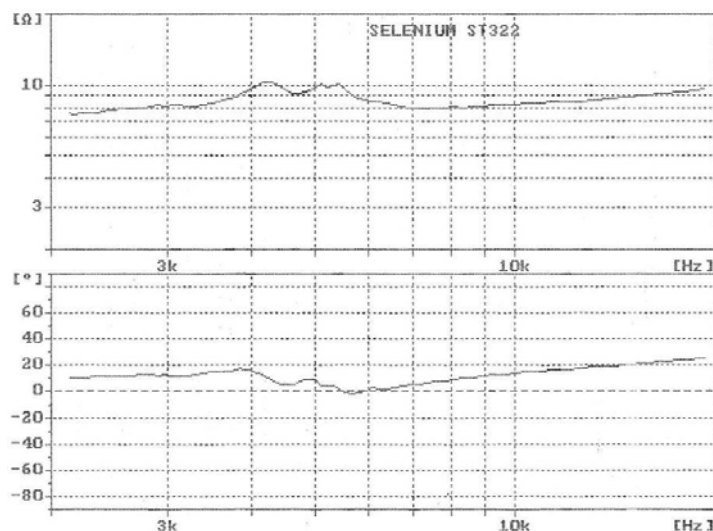
Na Obr. 6.5 vidíme změřenou impedanční charakteristiku měniče. S porovnáním impedanční závislosti dodávanou výrobcem Obr. 6.2. Pro středotónový reproduktor byl změřen rezonanční kmitočet, který odpovídá uvedenému údaji výrobce.



Obr. 6.5: Změřená impedanční a fázová charakteristika v závislosti na frekvenci reproduktoru Selenium-10MB3P

6.2.3 Selenium – ST322

Na Obr. 6.6 vidíme změřenou impedanční charakteristiku měniče. S porovnáním impedanční závislosti dodávanou výrobcem Obr. 6.3. Při měření vysokotónového reproduktoru nebyla rezonance tak výrazná jako u předcházejících reproduktorů. Lze odečíst dva vrcholy s kmitočty 4,2 kHz a 5,2 kHz, kde by se rezonance mohla nacházet. Podobný výsledek má uveden i výrobce.



Obr. 6.6: Změřená impedanční a fázová charakteristika v závislosti na frekvenci pro reproduktor Selenium – ST322

6.3 Návrh parametrů ozvučnice a bassreflexového nátrubku

Pro vybraný měnič **Eminence - Kappa PRO-15A** je hodnota $Q_{ts} = 0,38$, proto můžeme použít aproximaci typu „Maximally flat“ pro výpočet objemu a ladění bassreflexové ozvučnice podle [1]:

Potřebné parametry reproduktoru pro výpočty ozvučnice jsou $f_s = 47$ Hz, $Q_{ts} = 0,38$, $V_{as} = 167,7$ litrů.

Objem ozvučnice:

$$V_b = 15,33 \cdot V_{as} \cdot Q_{ts}^{2,86} = 15,33 \cdot 167,7 \cdot 0,38^{2,86} = 161,5l, \quad (6.2)$$

kde V_b je objem ozvučnice, V_{as} je ekvivalentní objem, Q_{ts} je celkový činitel jakosti.

Dolní mezní kmitočet:

$$f_3 = \frac{0,26 \cdot f_s}{Q_{ts}^{1,4}} = \frac{0,26 \cdot 47}{0,38^{1,4}} = 47,4Hz, \quad (6.3)$$

kde f_3 je dolní mezní kmitočet, f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru, Q_{ts} je celkový činitel jakosti.

Rezonanční kmitočet:

$$f_b = \frac{0,42 \cdot f_s}{Q_{ts}^{0,9}} = \frac{0,42 \cdot 47}{0,38^{0,9}} = 47,2 \text{ Hz}, \quad (6.4)$$

kde f_b je rezonanční kmitočet basové skříně, f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru, Q_{ts} je celkový činitel jakosti.

Poslední dva výpočty platí pouze pro aproximaci „Maximally flat“.

Dalším krokem při návrhu bassreflexové ozvučnice je stanovení průměru bassreflexového nátrubku. Podstatné je zvolit dostatečně veliký průměr nátrubku, aby nedocházelo k turbulentnímu proudění vzduchu v nátrubku. Průměr nátrubku se určuje pomocí průměru basového reproduktoru a to z důvodu, že v podstatě membrána (velikost membrány) vytváří samotné proudění uvnitř reprosoustavy. Pro basový reproduktor **Kappa PRO-15A** (15") volím nátrubek o průměru $d_1 = 100$ mm, který pro navrhovanou reprosoustavu použiji dvakrát.

Při použití více nátrubku se vypočte kombinace daných nátrubků podle vztahu:

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = \sqrt{100^2 + 100^2} = 141,4 \text{ mm}, \quad (6.5)$$

kde d je přepočtený průměr nátrubku, d_1 je průměr prvního nátrubku, d_2 je průměr druhého nátrubku.

Délka nátrubku pro vypočtené hodnoty a objem ozvučnice:

$$l = \frac{2361 \cdot d^2}{f_b^2 \cdot V_b} - 0,732 \cdot d = \frac{2361 \cdot 0,1414^2}{47,2^2 \cdot 0,1615} - 0,732 \cdot 0,1414 = 0,028 \text{ m} \Rightarrow 28 \text{ mm}, \quad (6.6)$$

kde l je délka nátrubku, d je přepočtený průměr nátrubku, f_b je rezonanční kmitočet basové skříně, V_b je objem ozvučnice.

Výška hrbu na frekvenční charakteristice:

$$SPL_{peak} = 20 \log \left[2,6 \cdot Q_{ts} \cdot \left(\frac{V_{as}}{V_b} \right)^{0,35} \right] = 20 \log \left[2,6 \cdot 0,38 \cdot \left(\frac{167,7}{161,5} \right)^{0,35} \right] = 0,0097 \text{ dB}, \quad (6.7)$$

kde SPL_{peak} je výška hrbu na frekvenční charakteristice, Q_{ts} je celkový činitel jakosti, V_{as} je ekvivalentní objem, V_b je objem ozvučnice.

Tento výpočet slouží pouze jako ověření správnosti výpočtů a vytvoření představy o tom, jak zhruba vypadá frekvenční charakteristika při použití aproximace „Maximally flat“.

Nyní snížíme objem basové skříně na $V_b' = 135$ l (toto je odhadovaný čistý objem reprosoustavy), přičemž se nám změní dolní mezní kmitočet:

$$f_3' = f_s \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_b'}} = 47 \cdot \sqrt{\frac{167,7}{135}} = 52,4 \text{ Hz}, \quad (6.8)$$

kde f_3' je nový dolní mezní kmitočet, f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru, V_{as} je ekvivalentní objem, V_b' je snížený objem boxu.

Nový rezonanční kmitočet:

$$f_b' = f_s \cdot \left(\frac{V_{as}}{V_b'} \right)^{0,32} = 47 \cdot \left(\frac{167,7}{135} \right)^{0,32} = 50,4 \text{ Hz}, \quad (6.9)$$

kde f_b' je rezonanční kmitočet basové skříně, f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru, V_{as} je ekvivalentní objem, V_b' je snížený objem ozvučnice.

Pro přepočítání kmitočetů musíme také „doladit“ nátrubek. Přeladění provádíme změnou délky nátrubku podle vzorce:

$$l' = \frac{2361 \cdot d^2}{f_b'^2 \cdot V_b'} - 0,732 \cdot d = \frac{2361 \cdot 0,1414^2}{50,4^2 \cdot 0,135} - 0,732 \cdot 0,1414 = 0,034 \text{ m} \Rightarrow 34 \text{ mm}, \quad (6.10)$$

kde l' je změněná délka nátrubku, d je přepočtený průměr nátrubku, f_b' je rezonanční kmitočet basové skříně, V_b' je snížený objem ozvučnice.

Nyní vyčíslíme výšku hrbu, který vznikl snížením objemu:

$$SPL_{peak}' = 20 \log \left[2,6 \cdot Q_{ts} \cdot \left(\frac{V_{as}}{V_b'} \right)^{0,35} \right] = 20 \log \left[2,6 \cdot 0,38 \cdot \left(\frac{167,7}{135} \right)^{0,35} \right] = 0,55 \text{ dB}, \quad (6.11)$$

kde SPL_{peak}' je výška hrbu na frekvenční charakteristice, Q_{ts} je celkový činitel jakosti, V_{as} je ekvivalentní objem, V_b' je snížený objem ozvučnice.

Tato metoda se hodí jak pro návrh co nejplošší charakteristiky, tak i pro vyhrbenější frekvenční charakteristiku (zmenšení objemu reprosoustavy).

6.4 Návrh výhybek

Při návrhu kmitočtových R, L, C filtrů se vychází z námi zvolených dělicích kmitočetů s ohledem na zvolené reproduktory. Dělicí kmitočty byly zvoleny:

- hlubokotónový reproduktor $f_{dd} = 500 \text{ Hz}$

- středotónový reproduktor $f_{dd}= 500$ Hz a $f_{dh}= 5$ kHz
- vysokotónový reproduktor $f_{dh}= 5$ kHz

Strmost filtrů je pro hlubokotónový i středotónový reproduktor 12 dB/oct. (40 dB/dek.).

Pro vysokotónový reproduktor je s ohledem na doporučení zvolena strmost 18 dB/oct. (60 dB/dek.). Vzorce pro výpočty výhybek jsou převzaty z literatury [1].

6.4.1 Dolní propust (40 dB/dek)

Výpočty hodnot součástek pro dolní propust ($Z_h= 7 \Omega$):

$$L_{11} = \frac{Z_h}{\pi \cdot f_{dd}} = \frac{7}{\pi \cdot 500} = 4,46mH , \quad (6.12)$$

kde Z_h je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru, f_{dd} je dělicí kmitočet hlubokotónového reproduktoru.

$$C_{11} = \frac{1}{4\pi \cdot f_{dd} \cdot Z_h} = \frac{1}{4\pi \cdot 500 \cdot 7} = 22,74\mu F , \quad (6.13)$$

kde f_{dd} je dělicí kmitočet hlubokotónového reproduktoru, Z_h je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru.

6.4.2 Pásmová propust (40 dB/dek)

Výpočty hodnot pomocných kmitočtů:

$$f_3 = f_{dd} \cdot \sqrt{\frac{f_{dh}}{f_{dh} - f_{dd}}} = 500 \cdot \sqrt{\frac{5,5 \cdot 10^3}{5,5 \cdot 10^3 - 500}} = 524,4Hz , \quad (6.14)$$

kde f_{dd} je dělicí kmitočet hlubokotónového reproduktoru, f_{dh} je dělicí kmitočet vysokotónového reproduktoru.

$$f_4 = f_3 \cdot \frac{f_{dh} - f_{dd}}{f_{dd}} = 524,4 \cdot \frac{5,5 \cdot 10^3 - 500}{500} = 5244Hz , \quad (6.15)$$

kde f_3 je pomocný kmitočet, f_{dd} je dělicí kmitočet hlubokotónového reproduktoru, f_{dh} je dělicí kmitočet vysokotónového reproduktoru.

Výpočty hodnot součástí pro pásmovou propust ($Z_s = 7,7 \Omega$):

$$L_{21} = \frac{Z_s}{\pi \cdot f_4} = \frac{7,7}{\pi \cdot 5244} = 467 \mu H, \quad (6.16)$$

kde Z_s je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru, f_4 je pomocný kmitočet.

$$L_{22} = \frac{Z_s}{\pi \cdot f_3} = \frac{7,7}{\pi \cdot 524,4} = 4,67 mH, \quad (6.17)$$

kde Z_s je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru, f_3 je pomocný kmitočet.

$$C_{21} = \frac{1}{4\pi \cdot f_4 \cdot Z_s} = \frac{1}{4\pi \cdot 5244 \cdot 7,7} = 1,97 \mu F, \quad (6.18)$$

kde f_4 je pomocný kmitočet, Z_s je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru.

$$C_{22} = \frac{1}{4\pi \cdot f_3 \cdot Z_s} = \frac{1}{4\pi \cdot 524,4 \cdot 7,7} = 19,71 \mu F, \quad (6.19)$$

kde f_3 je pomocný kmitočet, Z_s je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru.

6.4.3 Horní propust (60 dB/dek)

Výpočty hodnot součástí pro horní propust ($Z_v = 7,6 \Omega$):

$$C_{31} = \frac{1}{3\pi \cdot f_{dh} \cdot Z_v} = \frac{1}{3\pi \cdot 5,5 \cdot 10^3 \cdot 7,6} = 2,54 \mu F, \quad (6.20)$$

kde f_{dh} je dělicí kmitočet vysokotónového reproduktoru, Z_v je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru.

$$C_{32} = 3 \cdot C_{31} = 7,62 \mu F \quad (6.21)$$

$$L_{31} = \frac{3 \cdot Z_v}{8\pi \cdot f_{dh}} = \frac{3 \cdot 7,6}{8\pi \cdot 5,5 \cdot 10^3} = 165 \mu H \quad (6.22)$$

kde Z_v je průměrná hodnota impedance ve frekvenčním pásmu použití reproduktoru f_{dh} je

dělicí kmitočet vysokotónového reproduktoru.

6.5 Kompenzace impedančního průběhu měniče

6.5.1 Kompenzace indukčnosti kmitačky (hlubokotónový reproduktor)

Výpočty hodnot součástek pro kompenzaci indukčnosti kmitačky podle [1]:

$$R_{11} = 1,25 \cdot R_e = 1,25 \cdot 5,23 = 6,5 \Omega, \quad (6.23)$$

kde R_e je reálný odpor cívky reproduktoru uveden v dokumentaci [2].

$$C_{12} = \frac{L_e}{R_{11}^2} = \frac{1,01 \cdot 10^{-3}}{6,5^2} = 24 \mu F, \quad (6.24)$$

kde L_e je indukčnost cívky reproduktoru uvedena v dokumentaci [2].

6.5.2 Kompenzace rezonance (vysokotónový reproduktor)

Kompenzace byla zvolena na kmitočtu $f_s = 3$ kHz

Výpočty hodnot součástek pro kompenzaci rezonance podle [1]:

$$R_{33} = R_e + 0,5 = 6,1 + 0,5 = 6,6 \Omega, \quad (6.25)$$

kde R_e je reálný odpor cívky reproduktoru uveden v dokumentaci [3].

$$C_{33} = \frac{0,03003}{f_s} = \frac{0,03003}{3 \cdot 10^3} = 10,01 \mu F, \quad (6.26)$$

kde f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru zvolen podle Obr. 6.3.

$$L_{32} = \frac{0,02252}{f_s^2 \cdot C_{33}} = \frac{0,02252}{(3 \cdot 10^3)^2 \cdot 10,01 \cdot 10^{-6}} = 0,25 mH, \quad (6.27)$$

kde f_s je rezonanční kmitočet reproduktoru zvolen podle Obr. 6.3.

6.5.3 Vyrovnání citlivosti (vysokotónový reproduktor)

Výpočty hodnot součástek pro vyrovnání citlivosti ($A = 3-4$ dB) podle [1]:

$$R_{32} = 10^{\frac{A}{20}} \cdot \frac{R_e}{1 - 10^{\frac{A}{20}}} = 10^{\frac{3,5}{20}} \cdot \frac{6,1}{1 - 10^{\frac{3,5}{20}}} = 12,29\Omega, \quad (6.28)$$

kde A je zvolený útlum, R_e je reálný odpor cívky reproduktoru uveden v dokumentaci [3]

$$R_{31} = R_e - \frac{1}{\frac{1}{R_{32}} + \frac{1}{R_e}} = 6,1 - \frac{1}{\frac{1}{12,29} + \frac{1}{6,1}} = 2,02\Omega, \quad (6.29)$$

kde R_e je reálný odpor cívky reproduktoru uveden v dokumentaci [3].

6.6 Volba součástek

Po výpočtu výhybky je nutná volba součástek pro praktickou realizaci. Hodnoty součástek musíme navolit z běžně dodávaných řad E6 a E12. Na kvalitu výhybky má vliv i tolerance hodnot použitých součástek. Pro rezistory si můžeme dovolit toleranci 10% u cívek a kondenzátorů bychom měli splnit toleranci alespoň 5%.

6.6.1 Cívky

Všechny cívky jsou realizovány vodičem CuL o průměru 1 mm. Průřez tohoto vodiče vyhovuje proudové zatížitelnosti a stejnosměrnému odporu tak, aby velikost byla do 10% nominální hodnoty impedance reproduktoru. Cívky budou vinuty jako vzduchové.

6.6.2 Kondenzátory

Vzhledem k použití kondenzátoru ve střídavých obvodech volím bipolární fóliové kondenzátory s provozním napětím vyšším než 100V. Požadované hodnoty kapacit lze dosáhnout výběrem kondenzátorů na základě jejich měření nebo vhodnou kombinací dvou paralelně spojených kapacit.

Fóliový kondenzátor

6.6.3 Rezistory

Jako rezistory volíme drátové rezistory v keramickém provedení se ztrátovým výkonem 20W. Výkonově jsou mírně předimenzovány z důvodu tepelného sálení.

6.6.4 Žárovka

Pro ochranu vysokotónového reproduktoru byla zvolena žárovka 12 V/35 W, která ve studeném stavu představuje minimální odpor a neprojeví se tak v obvodu kmitočtového filtru u výškového reproduktoru.

6.7 Konstrukční provedení reproskříně

Neodmyslitelnou částí návrhu je stanovení koncepce provedení skříně pro reproduktory (viz. Příloha „Nákres reproduktorové soustavy“). Při výběru materiálu je vycházeno z teorie uvedené v kapitole 5.2. této práce. Pro účely použití navrhované reprosoustavy je zvoleno kompromisní řešení mezi hmotností, akustickými vlastnostmi a možností povrchové úpravy. Tomuto výběru se nejvíce přibližuje materiál typu MDF. Dostačující tloušťkou materiálu, s ohledem na rozměry a tuhost je zvolena tloušťka 22 mm. Pro spojení přířezů desek je použit typ natupo s kolíkovými čepy (8x50 mm). Rozteč mezi kolíky je 80 mm. Před mechanickým spojením jsou styčné plochy natřeny lepidlem na mechanicky namáhané spoje (Duvilax). Pro lepší utěsnění reproskříně je použit silikon nanesený do rohů spojených stěn.

Reproduktory jsou pevně umístěny ve skříně pomocí matek s pojistným kroužkem. Pod těmito matkami jsou použity velkoplošné podložky a to z důvodu zajištění pevného a otřesu odolnému upevnění.

K zatlumení reprosoustavy uvnitř skříně je použit vatelín (vrstva 2 cm). Tento materiál je pevně přichycen ke stěnám reproskříně pomocí nastřelovacích skob tak, aby nedošlo k mechanickému uvolnění tohoto materiálu. Na vnější povrch reproskříně je nalepen koberec, který má plnit funkci ochrany reprosoustavy.

Propojení reprosoustavy je řešeno pomocí konektorů SPEACON, které se využívají v profesionální ozvučovací technice a to hlavně z důvodu dobré mechanické odolnosti.

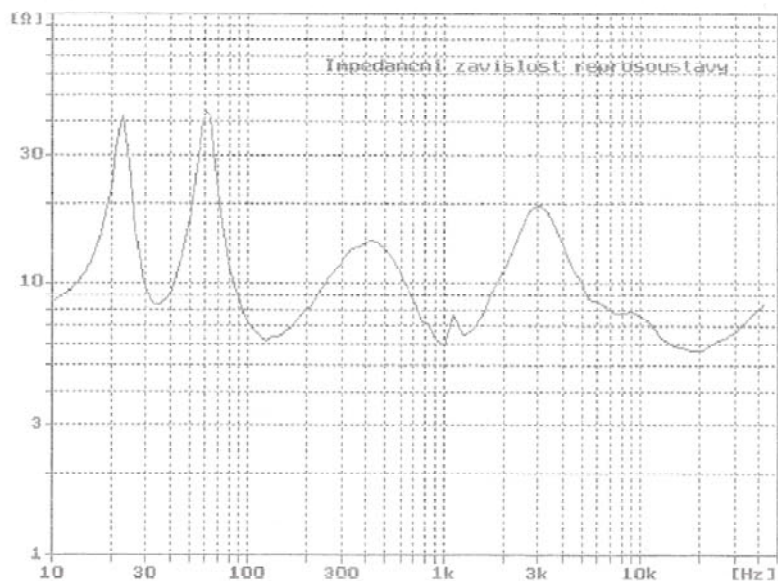
7 MĚŘENÍ REPROSOUSTAVY

7.1 Měření frekvenčních charakteristik

Nejčastější specifikací reprosoustavy je kromě základních parametrů (příkon, impedance, rozsah, atd.), také uváděna závislost citlivosti na frekvenci. Tato závislost nám ukazuje, jak se reprosoustava chová v kmitočtovém rozsahu. Od a do jakého kmitočtu nám může fungovat a také případné poklesy citlivosti na určitých kmitočtech, které mohou být způsobeny špatným návrhem dělicích kmitočtů výhybky. Jako další je impedanční charakteristika, kde máme přesné vyjádření závislosti impedance na frekvenci. Na této charakteristice můžeme ověřit polohu jednotlivých rezonančních kmitočtů reproduktorů. Samozřejmě tyto kmitočty máme uváděny v kalozích k reproduktorům, ale tyto hodnoty se změni, pokud reproduktory umístíme do reproskříně, také ovlivněním samotné výhybky. Proto je dobré si měřením ověřit jejich přesnou polohu.

7.1.1 Závislost impedance na frekvenci

Tato závislost se měřila stejným přístrojem jako samotné reproduktory viz. Kapitola 6.2 a to pomocí přístroje UNIMA - KS3.



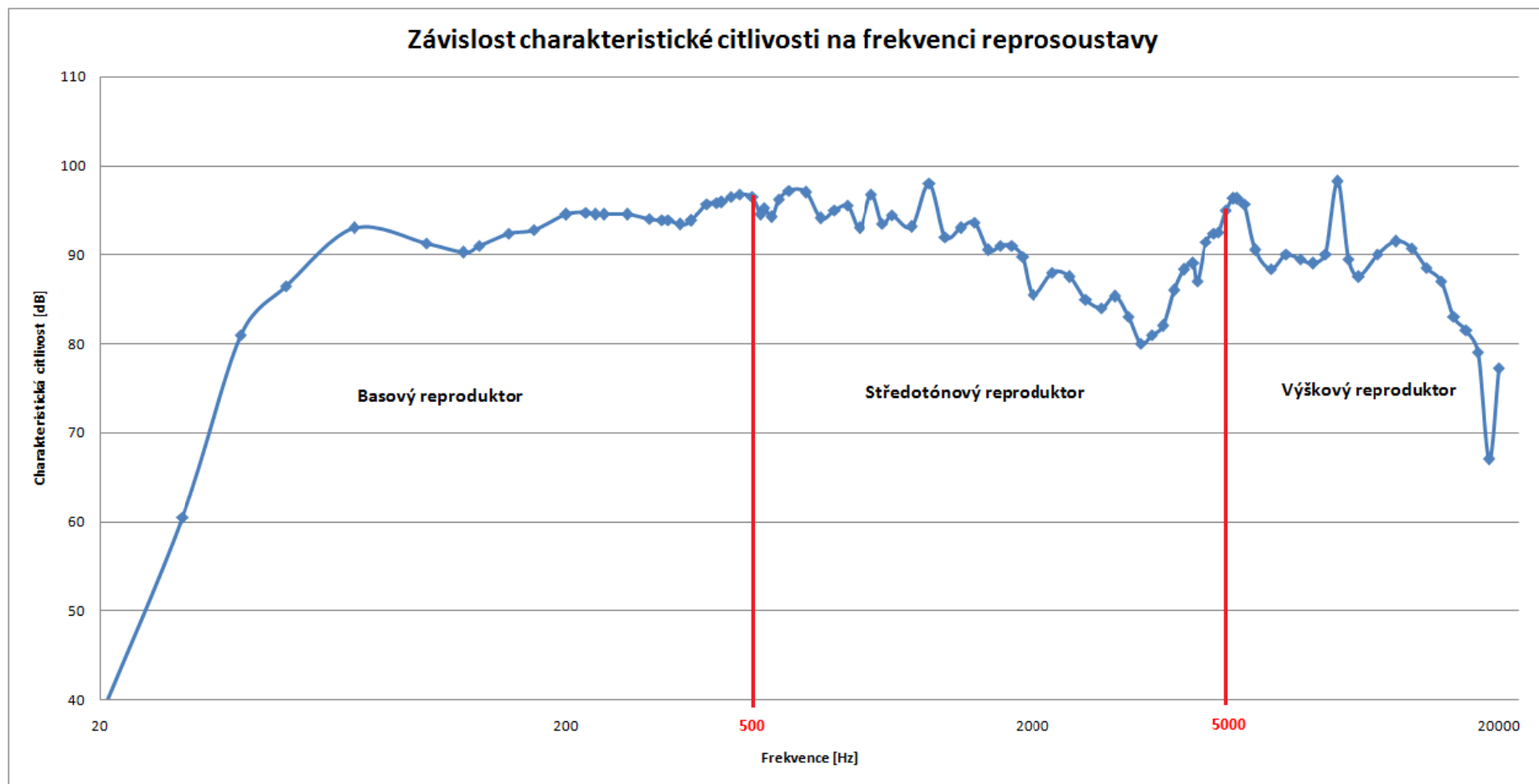
Obr. 7.1: Změřená impedanční charakteristika v závislosti na frekvenci reprosoustavy

Na Obr. 7.1 jsou patrné rezonanční frekvence jednotlivých reproduktorů. U basového a středotónového reproduktoru je rezonance nejpatrnější. U basového reproduktoru dochází k rezonanci na kmitočtu 23 Hz (reproduktor bez ozvučnice má 27 Hz). Středotónový reproduktor má rezonanci na kmitočtu 61 Hz (reproduktor bez ozvučnice má 80 Hz). Rezonanční kmitočty jsou tedy menší u reproduktorů uvnitř ozvučnice. Toto měření je samozřejmě ovlivněno, také vložením samotné výhybky do obvodu reprosoustavy. U reprosoustavy se také uvádí stejnosměrný odpor ($f=0$ Hz). Na Obr. 7.1 není bohužel patrný stejnosměrný kmitočet, proto se toto měření provedlo pomocí multimetru RLC MOTECH (měření odporu) $R_e = 6,9\Omega$.

7.1.2 Závislost citlivosti na frekvenci

Měření závislosti citlivosti na frekvenci se nejčastěji provádí v bezodrazové komoře. Do této komory je umístěn reproduktor a měřicí mikrofon ve vzdálenosti 1 m od reprosoustavy. Mikrofonem měříme napětí při výkonu reprosoustavy 1W a toto napětí přepočítáváme na citlivost. Měření je prováděno pomocí přístrojů měrného zesilovače a generátoru. Z tohoto přístroje je možné odečítat přímo citlivost. Tato závislost je vyobrazena na Obr. 7.2. Na tomto obrázku jsou vyznačeny dělicí kmitočty navržené výhybky, které jsou pro nás důležité. A to z důvodu ověření, zdali je správně navržena výhybka a jestli jsou stanoveny správné dělicí kmitočty výhybky. Dalším zajímavým bodem na frekvenční charakteristice je zhruba kmitočet 50 Hz, kde dochází k vyhrbení charakteristiky. Tento fakt je způsoben využitím bassreflexového nátrubku.

Použité přístroje: měrný mikrofon (Brüel & Kjær), měrný zesilovač 2608 a generátor sinusovky 1024 (Brüel & Kjær).



Obr. 7.2: Změřená závislost charakteristické citlivosti na frekvenci reprosoustavy

7.2 Parametry reprosoustavy

Základní parametry realizované reprosoustavy jsou shrnuty v Tab. 7.1. Základem pro stanovení parametrů jsou charakteristické údaje z technických dokumentu použitých reproduktorů. Při stanovení příkonu reprosoustavy se vychází z výkonu basového reproduktoru. Špičkový výkon není uveden a to z důvodu, že tato hodnota závisí na rozložení celkového výkonu mezi reproduktory a je pouze orientační. U charakteristické citlivosti je uvedena tolerance, která je specifická pro bezodrazovou komoru, kde bylo prováděno měření. Kmitočtový rozsah je odvozen z měření charakteristické citlivosti uvedené na Obr. 7.2.

Tab. 7.1: Základní parametry třípásmové reprosoustavy

Příkon (P_{rms})	500 W
Char. citlivost	92 dB (± 8 dB)
Jmenovitá impedance	8 Ω
Rozsah (-3dB)	60 Hz – 13,5 kHz
Rozsah (-10dB)	48 Hz – 16 kHz
Typ vyhýbky	pasivní
Bassreflex	ano
Konstrukční materiál	MDF
Vnitřní tlumení	vatelín (2cm)
Povrchová úprava	koberec
Rozměry	550x1280x400 mm
Hmotnost	66 kg

ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo rozebrat problematiku návrhu třípásmové reprosoustavy. Zaměřil jsem se na návrh reprosoustavy většího výkonu ke kvalitnímu ozvučení rozlehlejších uzavřených prostor. Z tohoto důvodu jsem zvolil značkové reproduktory od firem Selenium a Eminence, které jsou určeny pro realizaci kvalitních ozvučovacích systémů.

Úvod práce je věnován teorii zvuku a konstrukční stránce elektroakustických měničů. Z uvedené teorie vychází konkrétní výběr reproduktorů tak, aby byla splněna zvolená kritéria. Při návrhu jsem považoval za nutné dodržet vyváženou SPL charakteristiku celé soustavy s výkonovým zatížením minimálně 500 W trvalého zatížení a vstupní impedanci 8 ohmů. Dalším důležitým kritériem byla vysoká citlivost reproduktorů, která se bude pohybovat kolem 100 dB.

Práce dále pojednává o možnostech realizace ozvučnic, používaných materiálech a způsobu spojování stěn reproskříně. Z důvodu příznivějších rozměrů reprosoustavy jsem zvolil ozvučnici typu bassreflex. Materiál pro zhotovení skříně jsem vybral MDF desky tloušťky 22 mm, hlavně z důvodu dobrého tlumení stojatých vln v reprosoustavě.

Pro správnou funkci celé soustavy je důležitý návrh reproduktorových výhybek, které vycházejí z kmitočtových závislostí reproduktorů. Zde kladu důraz na vymezení dělicích kmitočtů pro jednotlivé reproduktory. Z fyziologie slyšení bude v navrhované reprosoustavě hrát dominantní roli středotónový reproduktor, který přenáší kmitočty v pásmu s nejvyšší citlivostí lidského ucha. Reproduktorové výhybky budou realizovány na jednovrstvé desce plošného spoje. Z důvodu vyšších proudů protékajících výhybkami, volím plošný spoj se systémem dělicích čar.

Při výběru reproduktorů jsem vycházel z dostupnosti kvalitních reproduktorů na českém trhu. Nejvíce jsem se zaměřil na výběr velmi kvalitního středotónového reproduktoru, kde požadavkům nejlépe vyhověl 10 palcový reproduktor typu 10MB3P od firmy Selenium. U výškového reproduktoru jsem jako důležité parametry považoval vyzařovací úhel a citlivost, která by výrazně nepřevyšovala citlivost středotónového i hlubokotónového reproduktoru. Těmto parametrům vyhověl reproduktor ST322 od firmy Selenium. Omezený výběr byl u hlubokotónových reproduktorů, kde požadovanou citlivost kolem 100 dB u 15 palcových reproduktorů splňovalo pouze několik typů nabízených na českém trhu. Konečnou volbou byl reproduktor Kappa PRO – 15A od firmy Eminence.

Při stanovení rozměru ozvučnice jsem vyšel z vypočteného objemu pro basový reproduktor a doporučeného objemu pro středotónový reproduktor. Osazení reproduktoru jsem volil tak, že středotónový reproduktor je umístěn v horní samostatné části reprosoustavy a výškový reproduktor je ve stejné komoře jako basový reproduktor. Deska plošného spoje s výhybkou je za dělicí mezistěnou středotónového reproduktoru. Celá situace je zřejmá z nákresu uvedeného v příloze.

Po samotné realizaci reprosoustavy jsem si měření ověřoval parametry reprosoustavy. Nejdůležitější měření probíhalo v bezdrazové komoře, kde jsem změřil kmitočtovou závislost citlivosti. Z tohoto průběhu jsem zjistil, že na dělicích kmitočtech nedochází k znatelnému skoku citlivosti, tím pádem byla ověřena správnost návrhu samotné výhybky.

Posledním krokem bylo otestování reprosoustavy v prostoru, kde reprosoustava bude využívána. Tato zkouška proběhla na fotbalovém hřišti. Moje subjektivní hodnocení je, že

s touto reprodukcí jsem spokojen. Vysoké kmitočty jsou reprezentovány velice dobře. Poslechu bez korekcí chybějí trochu nízké kmitočty, což je dáno z důvodu výše položeného kmitočtového rozsahu samotného basového reproduktoru. Hluboké kmitočty se mi zdají pohodové. Největší hedvábnost zvuku dodává středotónový reproduktor, který zaručuje pěkné a zřetelné reprodukování zvuku.

Na základě uvedených skutečností jsem s touto reprodukcí velice spokojen.

LITERATURA

- [1] TOMAN, K. *Reproduktory a reprosoustavy*. Karviná: Dexon s.r.o., 2001. 212 s.
- [2] Eminence, *Katalogové listy* [online], [cit. prosinec 2009]. Webové stránky společnosti. Dostupné na WWW: <<http://www.eminence-speaker.com>>
- [3] Selenium, *Katalogové listy* [online], [cit. prosinec 2009]. Webové stránky společnosti. Dostupné na WWW: <<http://www.eminence-speaker.com>>
- [4] SÝKORA, B. *Stavíme reproduktorové soustavy*, část I - XLVIII. Praktická elektronika ARadio, 10/1997 - 1/2001. Praha: AMÁRO, 1997-2001.
- [5] PRODANCE s.r.o., *Sortiment nabídky* [on-line], [cit. prosinec 2009]. Webové stránky společnosti. Dostupné na WWW: <<http://eshop.prodance.cz/>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

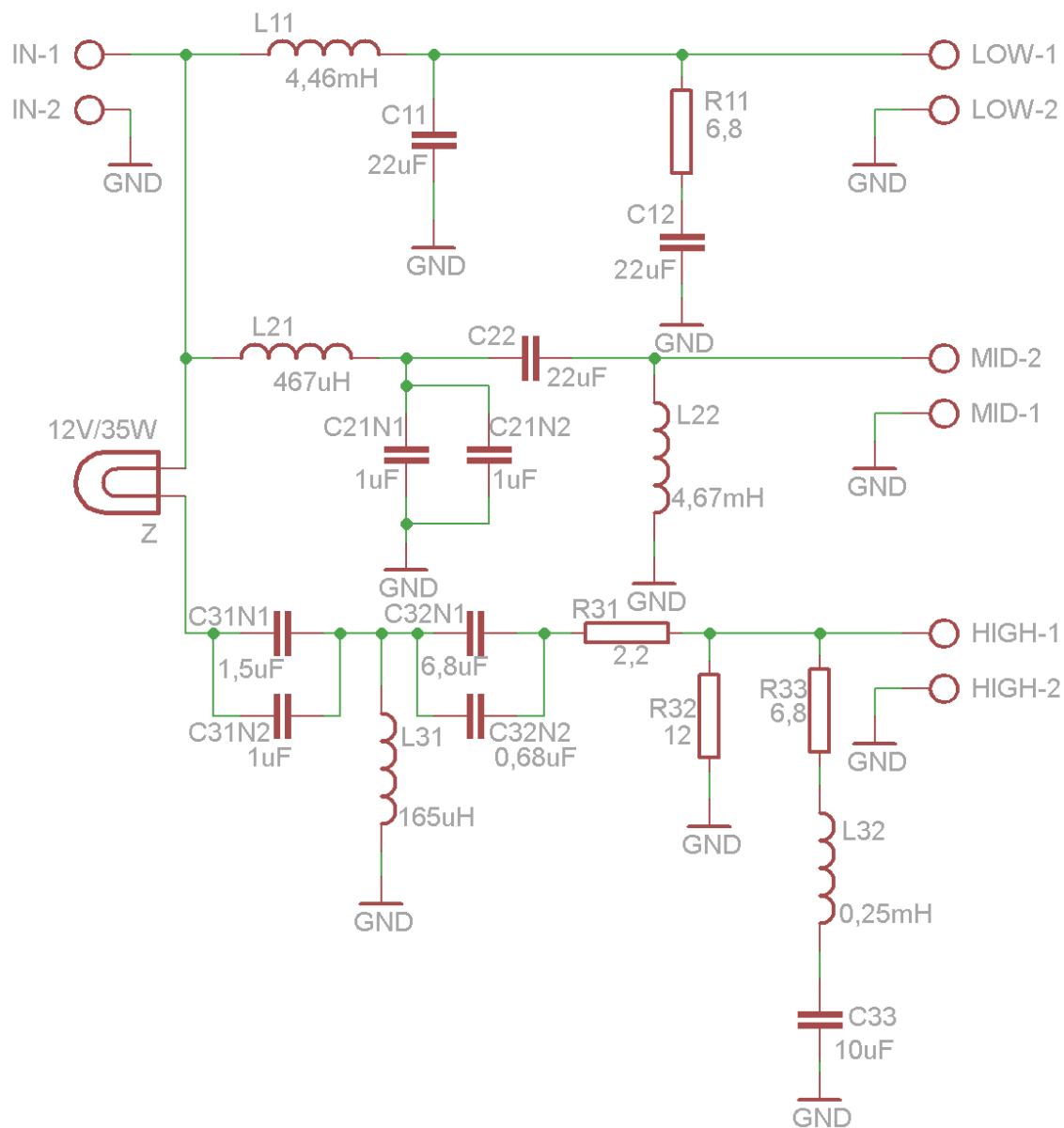
f	kmitočet [Hz]
f_s	rezonanční kmitočet [Hz]
A	útlum [dB]
d	průměr [m]
l	délka [m]
X_R	reaktance [Ω]
L_e	indukčnost cívky reproduktoru [H]
R_e	reálný odpor cívky [Ω]
L	elektrická indukčnost [H]
p	akustický tlak [Pa]
p_0	referenční hodnota akustického tlaku 2×10^{-5} Pa
Q_{es}	elektrický činitel jakosti
Q_{ms}	mechanický činitel jakosti
Q_{ts}	celkový činitel jakosti
R	elektrický odpor [Ω]
S	plocha [m ²]
V_{as}	ekvivalentní objem [m ³]
V_b	objem ozvučnice [m ³]
X_{max}	maximální lineární výchylka kmitacího systému [m]
Z	impedance [Ω]
C	elektrická kapacita [F]
φ	fázový posun [°]
E6, E12	Normalizované řady hodnot elektrických součástek
MDF	Medium Density Fibre, středně hustá deska z vlákniny
RMS	Root Mean Squared power, dlouhodobý hudební výkon
SPL	Sound Pressure Level, hladina akustického tlaku
EBP	Efficiency Bandwidth Product, činitel EBP pro bassreflex

SEZNAM PŘÍLOH

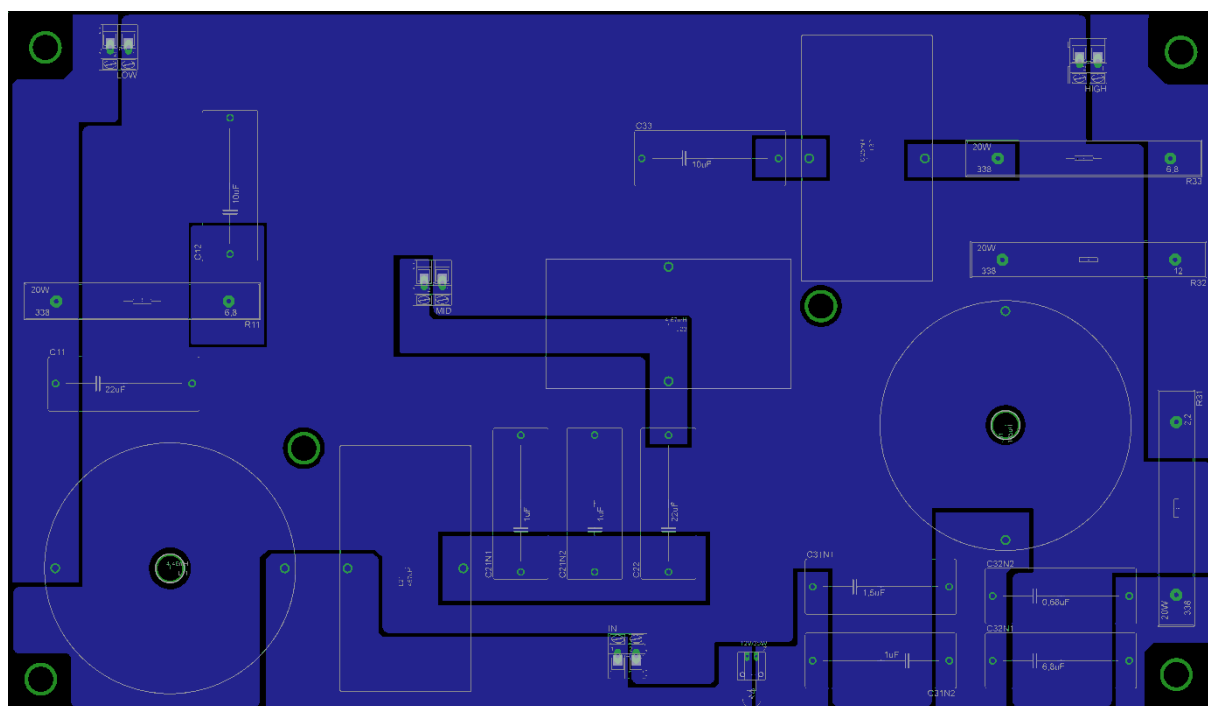
A	NÁVRH ZAŘÍZENÍ	48
A.1	Obvodové zapojení.....	48
A.2	Deska plošného spoje – top (strana součástek)	49
A.3	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů).....	49
A.4	Nákres reproduktorové soustavy	50
B	SEZNAM SOUČÁSTEK	51
C	FOTODOKUMENTACE	52

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

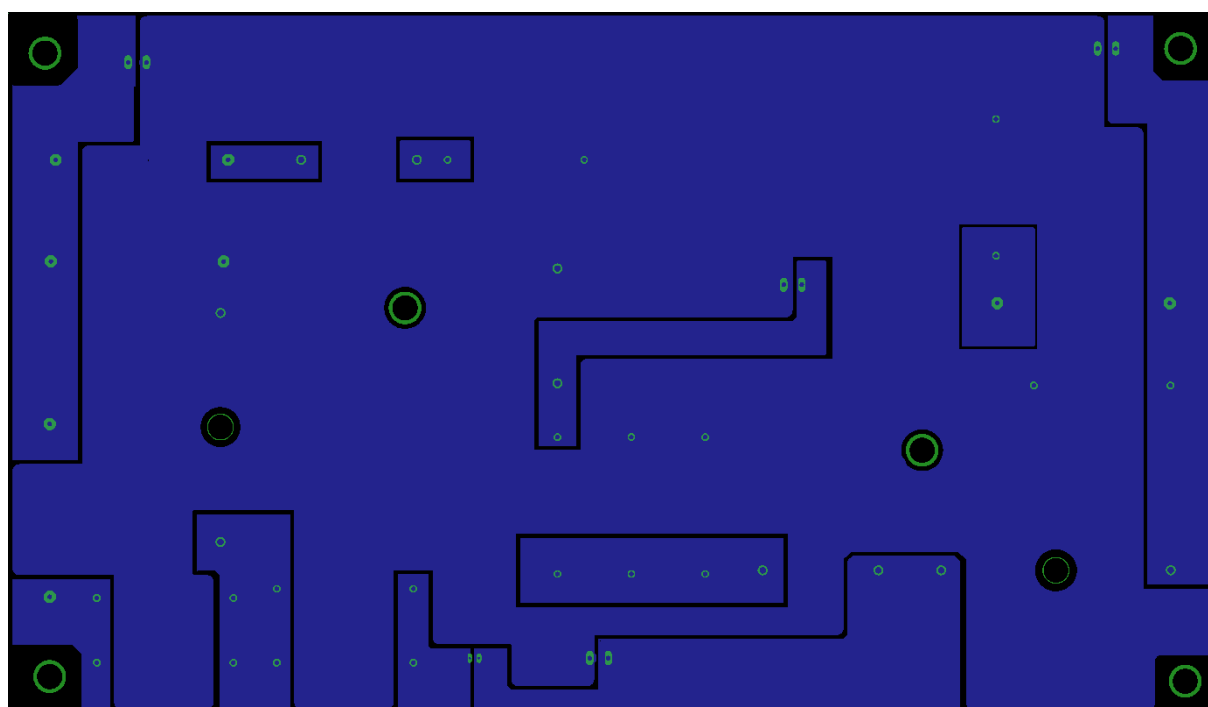
A.1 Obvodové zapojení



A.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C ₁₁	22 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C ₁₂	22 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C _{21N1}	1 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C _{21N2}	1 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C ₂₂	22 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C _{31N1}	1,5 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C _{31N2}	1 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C _{32N1}	6,8 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C _{32N2}	0,68 uF	C375	Fóliový kondenzátor
C ₃₃	10 uF	C375	Fóliový kondenzátor
L ₁₁	4,46 mH	TJ9-U2	Vzduchová cívka
L ₂₁	467uH	TJ9-U1	Vzduchová cívka
L ₂₂	4,67mH	TJ9-U1	Vzduchová cívka
L ₃₁	165uH	TJ9-U2	Vzduchová cívka
L ₃₂	0,25mH	TJ9-U1	Vzduchová cívka
Z	12V/35W	LDH-5R	Žárovka
R ₁₁	6,8	KWP338	Výkonový rezistor
R ₃₁	2,2	KWP338	Výkonový rezistor
R ₃₂	12	KWP338	Výkonový rezistor
R ₃₃	6,8	KWP338	Výkonový rezistor
HIGH	AK300/2	AK300/2	Konektor
IN	AK300/2	AK300/2	Konektor
LOW	AK300/2	AK300/2	Konektor
MID	AK300/2	AK300/2	Konektor

C FOTODOKUMENTACE

